



TITLE:

高温多湿気候下における既存住宅
の温熱環境と環境調整技術に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

宇野, 朋子

CITATION:

宇野, 朋子. 高温多湿気候下における既存住宅の温熱環境と環境調整技術に関する研究. 京都大学, 2004, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2004-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k10848>

RIGHT:

新制

工

1309

高温多湿気候下における既存住宅の温熱環境と
環境調整技術に関する研究

平成 16 年

宇野 朋子

高温多湿気候下における既存住宅の温熱環境と
環境調整技術に関する研究

平成 16 年

宇野 朋子

目次

第1章 序論	3
1.1 本研究の背景と目的	3
1.2 本研究に関連する既往の研究	4
(1) 日本における住宅の温熱環境とエネルギー消費に関する研究	4
(2) 環境負荷低減に用いられる建築的手法に関する研究	4
(3) 東南アジアの伝統住宅に関する研究	5
(4) 東南アジアの都市環境に関する研究	5
(5) 東南アジアの住宅の温熱環境に関する研究	5
1.3 研究の方法・論文の構成	5
(1) インドネシアおよびマレーシアの地域資料	5
(2) 一般的な住宅を対象とした調査	6
(3) 環境調整技術の検討	6
(4) 生活調査	6
(5) 本論文の構成	6
1.4 用語の定義	8
1.5 第1章のまとめ	8
第2章 地域特性	11
2.1 はじめに	11
2.2 対象地域の気候	11
(1) インドネシア・スラバヤ	12
(2) マレーシア・ペナン	12
2.3 インドネシア・マレーシアの気候	13
(1) 気候の年変動	13
(2) 外界気候の測定結果	15
2.4 インドネシアおよびマレーシアの経済状況	19
(1) GDP および平均的な収入	19
(2) エネルギー消費量	19
(3) 冷房普及状況	21
2.5 インドネシアの生活環境	22
(1) 生活時の服装	22
(2) インドネシアの住宅	23
2.6 第2章のまとめ	23

第3章 室内温熱環境の実態把握	25
3.1 はじめに	25
3.2 インドネシア・スラバヤにおける既存住宅の温熱環境調査	25
(1) 既存住宅の温熱環境調査の概要	25
(2) 外気温湿度・日射量の測定結果	37
(3) 住宅温熱環境に関するアンケート調査の結果	41
(4) 住宅の温熱環境測定結果	50
(5) 年間のエネルギー消費量	60
3.3 冷房の普及状況と冷房使用時の温熱環境についての調査	63
(1) 学生を対象としたエアコンの使用に関するアンケートの結果	63
(2) 戸建住宅を対象としたエアコンの使用に関するアンケート調査	63
(3) 戸建住宅を対象としたエアコンの使用に関する調査結果	66
(4) エアコンを使用状況とエアコン使用時の温熱環境	73
3.4 第3章のまとめ	84
 第4章 環境調整技術の評価	 87
4.1 はじめに	87
4.2 インドネシア・スラバヤに建つ実験住宅における環境調整技術の評価	87
(1) 実験住宅での温熱環境評価の流れ	87
(2) 実験概要	87
(3) 温熱環境実測結果	90
(4) 建物内外の気流解析	96
(5) 室内温湿度解析	101
(6) 実験住宅に取り入れられた個々の手法の検討	115
4.3 マレーシア・ペナンに建つ宿泊施設における環境調整手法の実験	117
(1) 実験の目的	117
(2) 実測概要	117
(3) 温熱環境実測結果	119
(4) 室内風速測定結果	122
(5) 室内温湿度解析	123
(6) 熱容量の大きな建物の実測と解析のまとめ	129
4.4 第4章のまとめ	129

第 5 章 既存住宅の温熱環境改善案の提案	131
5.1 はじめに	131
5.2 室内温熱環境解析の概要	131
(1) 解析対象住宅	131
(2) 室内温熱環境解析の方法	133
(3) 解析における入力データ	137
(4) 解析に用いた物性値	138
5.3 戸建住宅（タイプ A）における解析	139
(1) 外部環境の入力条件	139
(2) 解析値と実測値の比較	140
(3) 室内温熱環境の改善	141
5.4 戸建住宅（タイプ B）における解析	150
(1) 外部環境の入力条件	150
(2) 解析値と実測値の比較	151
(3) 室内温熱環境の改善	154
5.5 戸建住宅（タイプ B）において冷房を行う場合の解析	162
(1) 解析方法と外部環境の入力条件	162
(2) 解析値と実測値の比較	164
(3) 室内温熱環境の改善	166
5.6 第 5 章のまとめ	169
 第 6 章 結論	 171
6.1 まとめ	171
6.2 環境調整技術の提案	174
(1) 日射遮蔽と屋根からの熱流入の低減	174
(2) 夜間換気	174
(3) 日中閉鎖型の生活スタイル	174
(4) 熱容量の利用	174
(5) 部分高断熱高気密化	174
6.3 今後の課題	175

論文内容主旨

近年、地球環境問題が深刻化しており、国レベルにとどまらず世界レベルでの環境対策が必要となってきた。1997年の「第3回気候変動枠組み条約締約国会議」において、先進国間では2008～2012年の5年間の温暖化ガス平均排出量を1990年レベルの5%減とする目標が定められたように、世界的な環境問題への取り組みがなされてきた。日本でも様々な分野で省エネルギーへの対策が施されており、建築分野では、住宅や非住宅建築に対する省エネルギー基準の強化などに取り組んできた。このように、先進国では環境に対する意識が非常に高まってきた。

途上国に目を向けると、経済の発展に伴いエネルギー消費量は増加の一途をたどっている。特に、高温多湿気候に属する東南アジアでの経済発展はめまぐるしい。経済の発展と生活スタイルの変化に伴って、都市部のオフィスや公共施設では冷房が普及しつつある。冷房の普及は住宅にも広がっており、冷房エネルギー消費量の増加は必至である。

住宅において冷房エネルギー消費を抑えつつ室内環境の快適性を確保するためには、地域環境に適した建築的手法（パッシブ手法・技術）の開発が求められる。日本やその他の先進国ではパッシブソーラーシステムに代表される環境調整手法の研究が進められているが、高温多湿気候における建築的手法の研究はまだ十分とは言えない。

これらを背景に、本論文では、高温多湿気候下の住宅において有効な環境共生技術・手法を提案することを目的とする。住宅の温熱環境を把握するとともに、環境調整手法を導入した場合の温熱環境の改善と省エネルギー性能について検討する。

そのために以下の事項について検討、解析を行う。

- ① インドネシア・スラバヤにおける住宅の温熱環境調査と居住者の意識調査
- ② インドネシア・スラバヤおよびマレーシア・ペナンにおける室内環境改善のための建築的手法の実験的検討
- ③ 既存住宅に導入された環境調整技術・手法の温熱環境改善効果と省エネルギー効果の数値解析による評価

第1章 序論

1.1 本研究の背景と目的

1.2 本研究に関連する既往の研究

- (1) 日本における住宅の温熱環境とエネルギー消費に関する研究
- (2) 環境負荷低減に用いられる建築的手法に関する研究
- (3) 東南アジアの伝統住宅に関する研究
- (4) 東南アジアの都市環境に関する研究
- (5) 東南アジアの住宅の温熱環境に関する研究

1.3 研究の方法・論文の構成

- (1) インドネシアおよびマレーシアの地域資料
- (2) 一般的な住宅を対象とした調査
- (3) 環境調整技術の検討
- (4) 生活調査
- (5) 本論文の構成

1.4 用語の定義

1.5 第1章のまとめ

第1章 序論

1.1 本研究の背景と目的

長い建築の歴史の中で、人間は地域の気候に適応した居住環境を築き、自然環境を利用した多種多様な環境調整技術を生み出してきた。近代においては、技術の発展に伴って、生活の便利さと快適性が追求されるようになった。このような生活は多量のエネルギーと資源を消費することによって成り立ち、経済の発展や人口の増加とともに建築物が外部環境へ与える負荷も大きくなっていった。そして、地球温暖化や自然生態系の変容といった地球規模の環境問題が浮上してきた。

欧米では、早くから地球環境問題に危機感を抱いており、省エネルギーや環境負荷低減に対する意識が持たれている。北欧やドイツ、オランダなどの寒冷地においては、住宅でのエネルギー消費の削減を目指し、省エネルギー住宅や環境低負荷型の住宅が建設されてきた^{1) 2)}。

日本では、1973年の石油ショックがきっかけとなり全国的にエネルギー問題への関心が高まった。さらに、1990年の地球温暖化防止計画の決定を機に、省エネルギーやCO₂削減のためのより一層具体的な産業、生活のあり方が考えられるようになった。住宅分野では、1997年11月に環境共生住宅宣言³⁾が制定され、「環境負荷の低減 (Low Impact)」「自然親和性 (High Contact)」「健康・快適性 (Health and amenity)」を目指した環境共生住宅が設計されるようになった。省エネルギー対策の一環としては、1999年に「住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する基準」(次世代省エネルギー基準)が制定され、年間の冷暖房負荷や住宅の熱損失係数などの基準が地域ごとに定められた⁴⁾。このように、多くの先進国では環境負荷低減や省エネルギーに対する関心が高まってきている。

一方、途上国に目を向けると、現在のエネルギー消費量は先進国に比べると格段に少ないものの、急激な経済発展と人口増加に伴い、エネルギー消費量は確実に増加している⁵⁾。特にインドネシアやマレーシアなどのASEAN⁶⁾地域での経済発展は著しく、生活環境の向上に伴って民生用エネルギー使用量は増加の傾向にあり、深刻な問題になりつつある。また、これらの東南アジアの地域は高温多湿気候下にあり、オフィスや商用施設では冷房機器の普及がめざましい⁷⁾。世界的にみても、経済発展に伴った所得の上昇から、冷房機器を使用することによって快適性を求めることが一般化しており、これはエネルギー消費量と周辺環境に多大な影響を与えている。住宅においても、所得向上に伴ってエアコンなどの冷房機器の使用は増加する傾向にあり、今後エネルギー消費量の増加や周辺環境への影響がますます懸念される。かつての日本において、急激な経済発展の中で省エネルギー対策が後回しにされたように、東南アジアでも近年の急激な経済発展に伴って、経済を優先としたエネルギー的に不合理な建物が数多く建設されることが容易に想像される。

東南アジアではこれまで、日射遮蔽や通風などの建築的な環境調整手法(パッシブクーリング手法)によって、エネルギー消費に頼らない住宅環境を作ってきた⁸⁾。しかし、快適性の追求によってエアコンなどの冷房機器が普及し、その環境低負荷型の生活が変容しつつある。また現状において、ホテルやオフィスの冷房温度がかなり低いことに見られるように、住宅でも過剰な冷房がなされている可能性がある。例えば、冷房時の推奨温度は、日本が28℃であるのに対してシンガポールでは26℃である

し、実際の使用温度はこれよりも低いものが好まれているようである⁹⁾。これは、エネルギー消費もさることながら、血行障害など健康にも影響するものと考えられる。

エネルギー消費と居住者の健康を同時に考えると、冷房による快適性の前に建築的な環境調整技術を用いて快適な住宅熱環境を形成することが理想的である。また、エアコンによる冷房にはそれにふさわしい住宅の形態や構造があり、その検討無しに冷房を使用すればエネルギーの浪費になる。冷房の使用を前提とするならば、それに適した建物と冷房の使用が求められる。

以上を背景に、本研究では高温多湿気候に適した住宅とそのための建築的な環境調整技術（パッシブクーリング）を提案するとともに、冷房設備を導入する場合に省エネルギーとなる住宅や手法の提案を目的とする。そのために、高温多湿気候下でこれまでに用いられてきた建築技術を基礎とし、現地の気候特性、人々の暮らし方と室内温熱環境に関する調査を行い、これらを総合的に判断してその地域に適合した環境低負荷型住宅の提案とそのための環境調整技術の効果を定量化する。

1.2 本研究に関連する既往の研究

(1) 日本における住宅の温熱環境とエネルギー消費に関する研究

エネルギー消費と住宅室内環境との関連に関する研究としては、鈴木らが全国的なエネルギー消費とライフスタイルに関する調査、居住室温測定などを行っている¹⁰⁾。その中では、那覇が高温多湿な気候に属する。

坊垣らは、札幌・京都・那覇の集合住宅を対象に暖冷房使用や住まい方と省エネルギー対策に関する調査を行っている¹¹⁾。これらには、夏期の高温多湿気候下での居住者の住まい方が報告されている。

(2) 環境負荷低減に用いられる建築的手法に関する研究

夏期もしくは高温多湿環境に対するパッシブクーリング技術や環境調整技術に関しては、いくつかの研究がなされている。周辺への負荷を抑えた環境共生住宅を対象とした研究としては、伊澤らが東京世田谷区の深沢環境共生住宅において、周辺の微気候に関して実測と居住者の住まい方調査を踏まえた検討を行っている^{12) 13) 14) 15) 16)}。

何江らは、中国南方地域に実験住宅を建設し、屋根における排熱、床下への蓄冷機能について研究を行っている^{17) 18) 19)}。

周波らは、仙台における夏期防暑対策として、日射遮蔽、夜間換気、躯体蓄冷の効果について数値シミュレーションにより検討を行っている²⁰⁾。

渡辺らは、期間蒸暑地域における断熱気密住宅の温熱環境について検討している^{21) 22)}。彼らは、鹿児島において環境制御住宅での温熱環境測定を行い、シミュレーションとあわせて、断熱気密住宅の蒸暑期間における問題点と住宅での温湿度コントロールについて検討している。

パッシブクーリングについては、第18回熱シンポジウム²³⁾で議題に取り上げられ、日射遮蔽、通風、夜間換気、除湿、放射冷房、蒸発冷却などに関して、検討が行われている。以上のように、せいぜい2ヶ月程度の高温多湿な時期が続く日本の夏期に関しては様々な検討が行われているが、常に高温高湿度な環境である東南アジア地域について検討された例は少ない。

(3) 東南アジアの伝統住宅に関する研究

東南アジアの環境共生型住宅に関しては、脇田らが行った伝統住宅での環境共生技術に関する調査がある^{30) 31)}。そこでは、湿気を避けるための高床、日射を避けるためのテラスや屋根材、通風を行うための開口位置などに関する建築的手法の検討が行われている。

インドネシアでは、Woods らがバリの伝統的な住宅での設計コンセプトを説明するとともに、室内での通風や熱環境形成について紹介している^{32) 33)}。

(4) 東南アジアの都市環境に関する研究

環境負荷低減型都市・住区に関しては、村上らや梅干野らが研究を行っている。村上らは、ハノイの高密度居住区におけるポラス型の通風重視の集合住宅の開発を行っている³⁴⁾。

梅干野らは、都市を緑化することによる日射の遮蔽と蒸発潜熱の利用、および通風の確保をコンセプトとして、環境共生型の高容積住宅街区を提案している³⁵⁾。どちらも、都市レベルでの人口増加への対策として高密度型の住宅を提案し、数値シミュレーションによって日射遮蔽や通風の効果を検討している。

(5) 東南アジアの住宅の温熱環境に関する研究

東南アジアの住宅を対象とした温熱環境に関する研究としては、ベトナム・ハノイの伝統住宅における温熱環境調査が報告されている^{36) 37)}。そこでは、高温多湿な気候に適合する工夫として、熱容量の大きな材料の使用や中庭・吹き抜けのある空間構成が挙げられている。また、白石らはハノイでの住宅モデルとしてポラス型による通風量の増加を提案し、数値シミュレーションを用いた検討を行っている^{38) 39)}。しかし、長期的な温熱環境の調査を行ったものや、居住者の生活スタイルや熱環境評価を踏まえて温熱環境を評価した例はほとんど見られない。

インドネシアでは、Santosa らが住宅の温熱環境と快適性について、アンケート調査による居住者の評価に関する研究を行っている⁴⁰⁾。

東南アジアの住宅内での自然換気による室内環境の改善効果についての研究は、多くの地域を対象に行われている。マレーシアにおいては、Malik ら⁴¹⁾、タイでは Chalermwat⁴²⁾ らが、数値解析や室内での風速測定などを行っている。また、オフィス空間を対象としたものでは、冷房空間と自然換気を用いた空間との快適性の比較なども行われている。

1.3 研究の方法・論文の構成

以上の目的と背景を踏まえ、本研究は以下の項目について研究し、住宅の温熱環境の把握、高温多湿地域に適した住宅の提案を行う。

(1) インドネシアおよびマレーシアの地域資料

a) 外界気象とエネルギー消費に関する検討（第2章）

インドネシア・スラバヤおよびマレーシア・ペナンでの気象データを元に、気候の特徴を明らかにする。インドネシア・スラバヤにおいては、年間を通して外気温湿度・日射量の測定を行い、解析用

の入力データとして整理する。

(2) 一般的な住宅を対象とした調査

a) 居住環境の調査 (第3章)

インドネシア・スラバヤの一般的な住宅を対象とし、温湿度測定によって温熱環境の実態調査を行う。さらに、居住者の温熱環境改善のための工夫についてアンケート調査を行う。それらの結果から、現状の住宅の問題点を抽出し、建築的な環境調整手法を用いることによる改善について検討する。

b) 居住者の温熱感 (快適性) に関する調査 (第3章)

居住環境の調査で得られた温熱環境調査を踏まえて、居住者の現時点での温熱環境 (快適性) に関する意識調査を行う。これらの結果より、求められる環境を明らかにする。

c) 住宅におけるエアコン使用状況に関する調査 (第3章)

住宅におけるエアコンの使用について居住者へのアンケートと実測を行い、使用時の温熱環境について検討する。

(3) 環境調整技術の検討

a) 環境調整技術 (パッシブクーリング技術) の効果検討のための実験 (第4章)

インドネシア・スラバヤにおいて様々なパッシブクーリング手法を取り入れた実験住宅での測定、マレーシア・ペナンでは熱容量の大きな住宅を対象とした環境調整手法の効果についての実験を行う。これらの実験および温湿度測定結果をもとに、環境調整手法の効果について検討する。また、数値シミュレーションを用いて、その効果の定量化を試みる。

b) 環境調整技術による住宅の熱環境改善効果と省エネルギー効果の検討 (第5章)

一般の住宅に対して行った温湿度測定を踏まえて、一般の住宅に第4章で検討した環境調整技術を適用した場合の効果について、室内温熱環境解析について数値シミュレーションを用いて検討する。

(4) 生活調査

a) 生活状態についての調査 (第2章)

統計データを元にエネルギー消費量などについて検討する。また、着衣量や活動量などについても検討を行う。

(5) 本論文の構成

第2章では、本研究で対象とした地域の気候や特性について概観する。

第3章では、熱帯地域の住宅の実態を把握するために行った調査の概要と結果について示す。

第4章では、高温多湿地域に適した環境調整技術について実験と解析により検討した結果を示す。

第5章では、高温多湿地域に適した環境調整技術とその技術を導入した住宅の提案を行う。

第6章では、本研究の総括を行い、今後の課題を挙げる。

高温多湿気候下における既存住宅の温熱環境と環境調整技術に関する研究

第1章 序論

目的・背景・従来の研究・研究方法

目的（高温多湿気候下において、温熱環境の改善と省エネルギーの両立）

第2章 地域特性

気候、年間変動
エネルギー消費
住宅、着衣など

第3章 室内温熱環境の実態把握

実住宅で求められる温熱環境を把握
住宅の温熱環境をどのように感じているか
冷房を使用することに関してどう感じているか

住宅の温熱環境測定
温熱環境に関するアンケート

一般住宅の温熱環境

・戸建住宅

・集合住宅

冷房の使用状況

・普及率、必要度

・使用時間、温度

・睡眠時の温熱環境

改善すべき点を明らかにする
取り入れられる建築的手法について列挙

第4章 環境調整技術の評価

実験による確認

ベナン実験

・夜間換気

・熱容量

スラバヤ実験住宅

・閉鎖スタイルの違い

・熱容量

・日射遮蔽

・通風

解析による確認

ベナン実験

・夜間換気

・熱容量

スラバヤ実験住宅

・閉鎖スタイルの違い

・熱容量・躯体蓄冷

・日射遮蔽

・通風

個々の環境共生手法の検討と定量化

環境共生手法をまとめる

・日射の遮蔽

・夜間換気・躯体蓄冷・熱容量

・日中閉鎖型の住宅

・蒸発潜熱の利用

・部分高断熱高気密

第5章 既存住宅の温熱環境改善の提案

シミュレーションの入力データ

・気候データ

・住宅の詳細

・冷房を使用しない住宅

・日射の遮蔽

・夜間換気・躯体蓄冷・熱容量

・日中閉鎖型の住宅

・冷房を使用する住宅

・日射の遮蔽

・躯体蓄冷・熱容量

・部分高断熱高気密

シミュレーションによる確認

住宅に導入した場合の効果について定量化する

第6章 結論

高温多湿気候下における住宅の提案
環境共生手法の提案

図 1-1 論文の構成

1.4 用語の定義

環境調整技術(パッシブ技術)に関連する用語は建築用語学事典では以下のように定義されている。

(1) パッシブシステム (passive system)

特別な機械装置を用いずに、建物自体の性能によって熱の流れを自然に制御し、暖かさ、涼しさの効果を得る方式。⇔アクティブシステム。→パッシブソーラーシステム³⁰⁾

(2) パッシブソーラーシステム (passive solar system)

特別な機械装置を用いずに、暖かさ、涼しさの効果を得る方式。このシステムでは、建物内に太陽熱を取り込み、建物自体の性能によって熱の流れを自然に制御し、集熱、蓄熱、放熱、熱搬送などを適切に行う。→アクティブソーラーシステム³⁰⁾

(3) パッシブクーリング (passive cooling)

夏期において、パッシブシステムを導入して、涼しい室内環境を得ること³⁰⁾

本論文では、住宅の温熱環境を向上させるため、もしくは同様の温熱環境をより少ないエネルギー消費で実現するための建築的手法を「環境調整技術」と定義する。「パッシブ手法」は「環境調整技術」の一つと定義する。

1.5 第1章のまとめ

本章では、研究の背景として東南アジア地域などの高温多湿気候下に適した環境調整技術と環境低負荷型住宅と、冷房を前提とした建物の開発の必要性を述べた。既往の研究との関連について述べ、本研究の位置づけを行った。

参考文献

- 1 小玉祐一郎：建築探訪4 住まいの中の自然、丸善、1992年10月
- 2 小玉祐一郎：エコ・ハウジングの進め、丸善、1996年6月
- 3 環境共生住宅推進協議会：環境共生住宅A-Z改訂版 新世紀の住まい作りガイド、ビオシティ、1998年
- 4 住宅金融公庫：<http://www.jyukou.go.jp/>、2004年1月
- 5 IEA Energy Balances of Non-OECD Countries: International Energy Agency、2000年
- 6 東南アジア10カ国からなる地域協力機構である。ASEANは、1967年8月、当初インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイの5カ国で設立された。その後、1984年1月にはブルネイが加盟し、これら6カ国がいわゆる原加盟国と呼ばれている。その後、冷戦が終わり、1995年9月にはベトナム、1997年7月にはラオスとミャンマーが加盟し、1999年4月、最後のカンボジアが加盟、「ASEAN10」が実現した。
- 7 Statistics Indonesia、<http://www2.bps.go.id/>、2003年2月
- 8 布野修司：住まいの夢と夢の住まい アジア住居論、朝日新聞社、1997年

- 9 シンガポール学会 ICBSFM 2003 において、Er. Chin Kok Keong 氏とのパーソナルコミュニケーションから得られた。
- 10 鈴木憲三、松原吉樹、森田大、澤池孝男、坊垣和明：札幌、京都、那覇の集合住宅における暖冷房環境の比較分析—暖冷房使用に関する意識と住まい方の地域特性と省エネルギー対策の研究 その1—、日本建築学会計画系論文集、第476号、pp.17-24、1995年9月
- 11 坊垣和明、澤池孝男、吉野博、鈴木憲三、赤林伸一、井上隆、大野秀夫、松原吉樹、林徹夫、森田大：夏期および冬期の居住室温とその地域性に関する研究—全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究 第2報—、日本建築学会計画系論文集、第505号、pp.23-30、1998年5月
- 12 伊藤康一、斉藤雅也、宿谷昌則、岩村和夫：深沢環境共生住宅の涼房手法の効果に関する実測、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.411-412、1999年
- 13 荒瀬慎、西川竜二、宿谷昌則、岩村和夫：深沢環境共生住宅の隣棟空間における蒸発冷却効果に関する実測、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.443-444、1999年
- 14 西川竜二、荒瀬慎、宿谷昌則、岩村和夫：深沢環境共生住宅における建築外部気候と自然冷房効果に関する実測、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.445-446、1999年
- 15 荒瀬慎、高成田恵介、小澤隆裕、斉藤雅也、宿谷昌則：環境共生型コーポラティブ住宅における夏季の住まい方に関する研究—その1敷地内外の温熱環境、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.425-426、2001年
- 16 高成田恵介、荒瀬慎、小澤隆裕、斉藤雅也、宿谷昌則：環境共生型コーポラティブ住宅における夏季の住まい方に関する研究—その2温熱環境が住まい手の意識や行動に与える環境、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.427-428、2001年
- 17 何江、駒野清治、荏原幸久、奥村昭雄、梅干野晃：高温多湿気候における環境共生住宅に関する実践研究 その1実験住宅の設計コンセプトとシステムの概要、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.463-464、1999年
- 18 浅野耕一、梅干野晃、小伊藤成毅、何江：高温多湿地域における環境共生住宅に関する実践研究 その2屋根排熱機能の室内熱環境への影響、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.465-466、1999年
- 19 小伊藤成毅、梅干野晃、浅野耕一、何江：高温多湿地域における環境共生住宅に関する実践研究 その3床面・床下蓄冷機能の室内熱環境への影響、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.467-468、1999年
- 20 岡波、吉野博、石川善美、長田宗二、植田優：環境共生住宅の防曇対策に関する数値計算による検討、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp.51-52、2000年
- 21 渡辺康裕、渡辺俊之、龍有二、赤司泰義、川上可：夏期蒸暑地域における断熱気密住宅の室内環境に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、第495号、pp.21-29、1997年5月
- 22 高瀬秀芳、渡辺俊之、尾崎明仁：期間蒸暑地域における断熱気密住宅の温熱環境性能、日本建築学会環境系論文集、第572号、pp.9-16、2003年10月
- 23 住宅のバッシブクーリング、日本建築学会環境工学委員会熱小委員会、第18回熱シンポジウム、1998年9月
- 24 脇田祥尚、山本直彦、田中麻里、沼田典久、布野修司、牧紀男、遠藤和義、小林克哉、小玉祐一郎：東南アジアにおける環境共生住宅に関する研究 その1 エコハウスの理念と集落にみる環境共生技術、日本建築学会学術講演梗概集 E-2、pp.41-42、1996年
- 25 沼田典久、山本直彦、田中麻里、布野修司、牧紀男、脇田祥尚、遠藤和義、小林克哉、小玉祐一郎：湿潤熱帯地域におけるエコハウスに関する研究 その2 東南アジアの建築研究機関での環境共生技術の取り組み、日本建築学会学術講演梗概集 E-2、pp.43-44、1996年
- 26 P.C.Woods, G.N.Antaryama: Aspects of Contemporary Life in Bali -The Conflict with Architectural Tradition, Architecture and Environment Vol.1, No.1, pp.10-17、2002年10月
- 27 A Vernacular Settlement in Sumatra: ecological hints for the 21st century Indonesia towns (Recycling Building Materials, Waste Treatment, Respect for the Human Scale): ASIA Symposium, pp.361-363、1998年
- 28 村上周三、加藤信介：「高温多湿気候に対する環境負荷低減型高密度居住区モデルの開発」ハノイモデルと東京モデルの開発、未来開拓学術研究推進事業研究プロジェクト、CD-ROM、2003年
- 29 梅干野晃、円井基史：環境共生都市を考える グリーンアーキテクチャによるアジア街区プロトタイプ、新建築、pp.190-195、2002年8月
- 30 金泰延、村上周三、加藤信介、白石靖幸、大岡龍三、伊香賀俊治、李順旺：高温多湿気候区の都市高密度居

住に関する研究（その 1）ハノイの伝統的民家における環境実測の概要、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、pp.897-898、2000 年

- 31 李顯旺、村上周三、加藤信介、白石靖幸、大岡龍三、伊香賀俊治、金泰延：高温多湿気候区の都市高密度居住に関する研究（その 2）ハノイの伝統的民家における室内温熱環境実測結果 D-1、pp.899-890、2000 年
- 32 白石靖幸、村上周三、加藤信介、伊香賀俊治、平野智子：ボアラス型住棟の自然換気量増加と冷房負荷削減効果の検討—高温多湿気候下における環境負荷低減型住居に関する研究—、日本建築学会計画系論文集、第 558 号、pp.15-22、2002 年 8 月
- 33 平野智子、加藤信介、村上周三、伊香賀俊治、白石靖幸、上原睦：ボアラス型住棟における冷房負荷及び CO₂ 排出量削減効果の検討—高温多湿気候下における環境負荷低減型住居に関する研究 その 2—、日本建築学会環境系論文集、第 566 号、pp.87-94、2003 年 4 月
- 34 Mas Santosa : Cooling for High Density Settlement; Transforming the Tradition, 23th National Passive Solar Conference in Albuquerque, pp.99-105, 1998.7.
- 35 Abdul Malic : Natural cooling of Malaysian Urban Homes by Free Wind, Green Pages Editorial, 1999 年 6 月
- 36 Chaleewat Tantasavasdi, Jelena Srebric, Qingyan Chen : Natural ventilation design for houses in Thailand, Energy and Buildings, Vol.33, pp.815-824, 2001 年
- 37 建築学用語辞典 第 2 版、日本建築学会、岩波書店、p.594、1999 年 9 月
- 38 建築学用語辞典 第 2 版、日本建築学会、岩波書店、p.594、1999 年 9 月
- 39 建築学用語辞典 第 2 版、日本建築学会、岩波書店、p.594、1999 年 9 月

第2章 地域特性

2.1 はじめに

2.2 対象地域の気候

- (1) インドネシア・スラバヤ
- (2) マレーシア・ペナン

2.3 インドネシア・マレーシアの気候

- (1) 気候の年変動
- (2) 外界気候の測定結果

2.4 インドネシアおよびマレーシアの経済状況

- (1) GDP および平均的な収入
- (2) エネルギー消費量
- (3) 冷房普及状況

2.5 インドネシアの生活環境

- (1) 生活時の服装
- (2) インドネシアの住宅

2.6 第2章のまとめ

(1) インドネシア・スラバヤ

図 2-2 にインドネシアの地図を示す。スラバヤは、インドネシア・ジャワ島の東部（南緯 7° 東経 112°）に位置している。熱帯モンスーン気候に属しており、雨期と乾期がある。

スラバヤでは、一般住宅を対象とした温熱調査と温熱環境に関する居住者の意識調査、および実験住宅において環境調整技術に関する実験を行った。

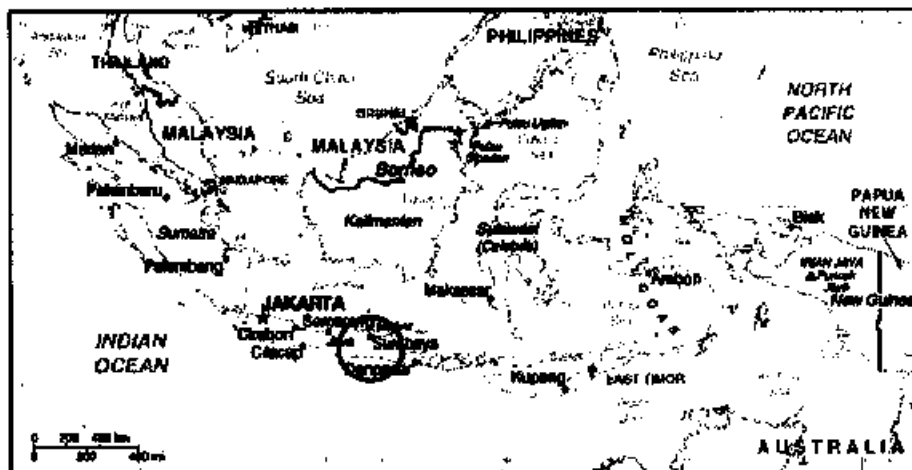


図 2-2 インドネシアとスラバヤ

(2) マレーシア・ペナン

図 2-3 にマレーシアの地図を示す。ペナン島はマレー半島の西側にある島で、熱帯モンスーン気候もしくは熱帯雨林気候に属する。

ペナンでは、コロニアルスタイルのゲストハウスにおいて夜間換気の実験を行い、熱容量と夜間換気の効果について検討を行った。



図 2-3 マレーシアとペナン

第2章 地域特性

2.1 はじめに

本研究では、研究対象地域としてインドネシアおよびマレーシアを選び、住宅の温熱環境について検討し、高温多湿気候下に適した住宅の提案を行う。住宅の温熱環境を評価するには、気候、風土、生活様式、エネルギー利用状況などの地域特性の把握が前提となる。

本章では、対象地域の気候やエネルギー消費量などの特性についてまとめる。

2.2 対象地域の気候

東南アジアの熱帯気候（高温多湿気候）に属する、インドネシア・スラバヤ、マレーシア・ペナンを対象地域とした。インドネシア・スラバヤ（南緯7° 東経112°）は、首都ジャカルタのあるジャワ島の東に位置し、インドネシアでは第2の商業都市である。マレーシア・ペナン（北緯5° 東経100°）はマレー半島の西のペナン島にある。図2-1にそれぞれの都市の位置を示す。

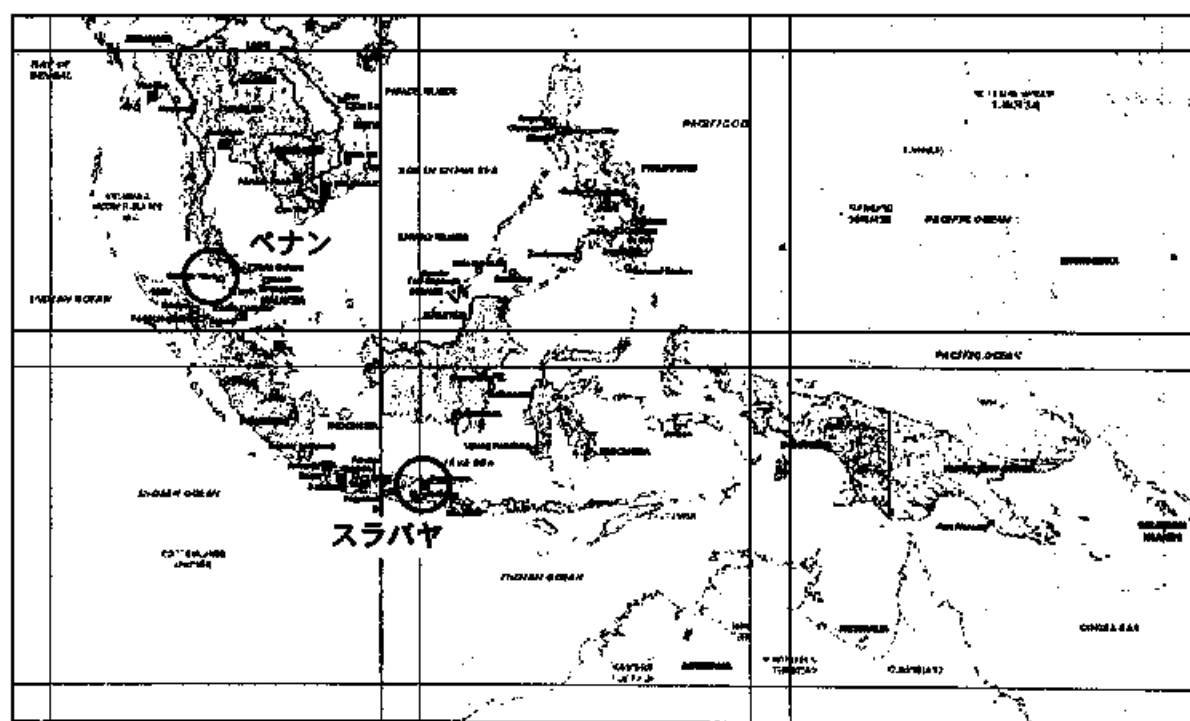


図2-1 スラバヤおよびペナンの位置

2.3 インドネシア・マレーシアの気候

(1) 気候の年変動

a) 温湿度

東南アジアの中でも、インドネシアやマレーシアは熱帯雨林気候もしくは熱帯モンスーン気候に属しており、一年を通して高温多湿である。熱帯雨林気候では、気温の年較差が小さく多雨である。熱帯モンスーン気候では、降水量に季節的な変化がある。

図 2-4 にインドネシア・スラバヤとマレーシア・ペナンの外気温と相対湿度クリモグラフ（2001 年）を示す。月平均気温はペナンでは 28.5℃、スラバヤでは 27℃を超えており、また、相対湿度はペナンでは 75%以上、スラバヤでは 65%以上となっている。図 2-7 にスラバヤとペナンの降水量の平年値を示す。スラバヤもペナンも年間の降水量に季節的な変化がある（熱帯モンスーン気候）。スラバヤでは 4～11 月が乾期、12 月～3 月が雨期にあたる。

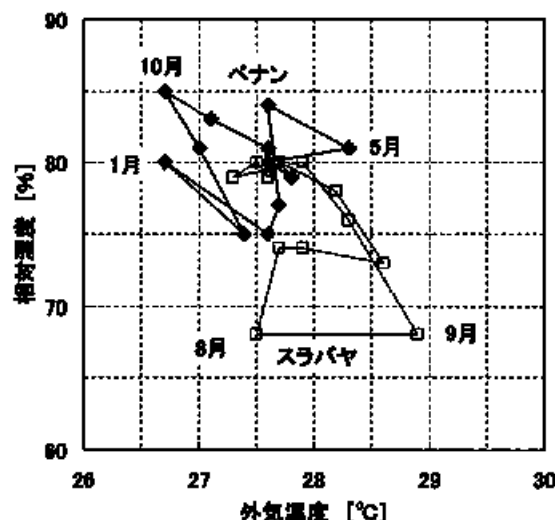


図 2-4 外気温と相対湿度クリモグラフ（2001 年）¹⁾

図 2-5 と図 2-6 にスラバヤ、ペナンの温湿度の年間変化を示す。比較のため、京都、那覇の値も同時に示す。平均気温、相対湿度（図 2-5）は平年値であり、最高気温、最低気温（図 2-6）は 2001 年の値である。

スラバヤとペナンの気温はともに、京都の 7・8 月の外気温平年値に近い（図 2-5 (a)）。スラバヤでは 10・11 月に、ペナンでは 4・5 月に気温が高くなる。スラバヤの相対湿度（ペナンの平年値は無い）は、12 月～5 月は 80～85%、6～11 月は 60%程度であり（図 2-5 (b)）、雨期と乾期の相対湿度の差は大きい。

最高気温（図 2-6 (a)）はスラバヤでは 30.5～32.8℃、ペナンでは 30.2～32.5℃であり、7・8 月の京都（34.2℃、33.6℃）よりも低い。最低気温（図 2-6 (b)）はスラバヤでは 24.2～26.5℃、ペナンでは 24.3～25.8℃であり、スラバヤの 8 月、ペナンの 1 月を除くと 7・8 月の京都の最低気温（24.5℃）よりも高い。気温の年間較差が小さく、日較差も京都と比較すると小さい。スラバヤでは 7・8 月が最も気温の低い時期で「Cool Season」と呼ばれている。日最低気温の月平均が最も低かった 8 月の最低気温は、24.5℃である。

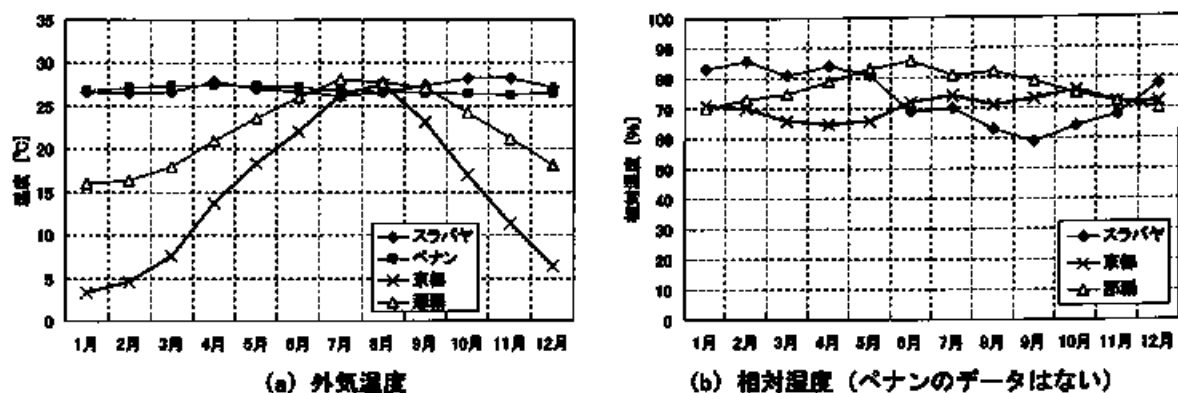


図 2-5 月平均気温と月平均相対湿度 (平年値)²⁾

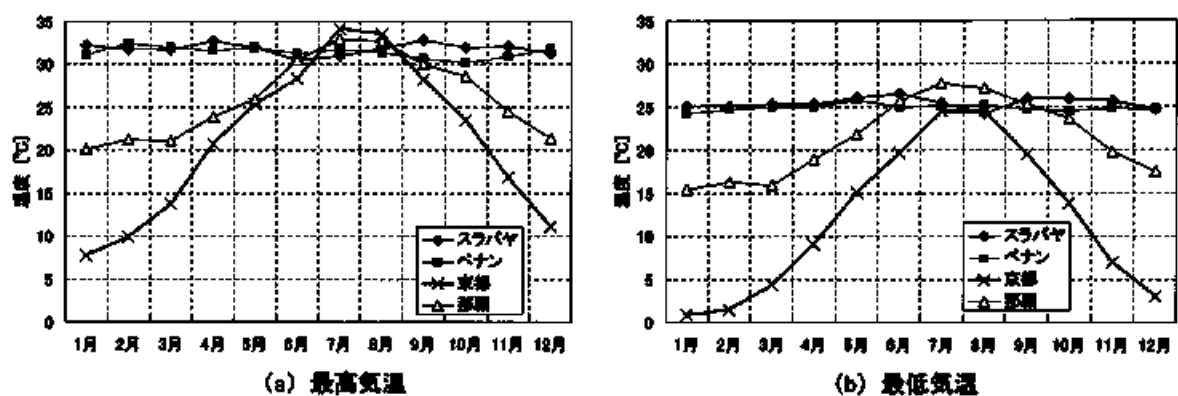


図 2-6 日最高気温と日最低気温の月平均値 (2001 年)³⁾

b) 降水量

図 2-7 にスラバヤとペナンでの月別の降水量を示す。

ともに熱帯モンスーン気候下であり、一年は乾期と雨期に分かれる。スラバヤでは 4 月～11 月が乾期であり、8 月と 9 月はほとんど雨が降らない。雨期は 12 月～3 月であり、降水量が最も多い時期は 1 月である。ペナンでは、12 月～3 月が乾期であり、5 月が少雨期、9・10 月が雨期である。いずれの地域も、雨期には月平均の日降水量が 200mm を超えている。雨期には、日中に気温が高くなり、午後にはスコールがあり気温が下がる⁴⁾。

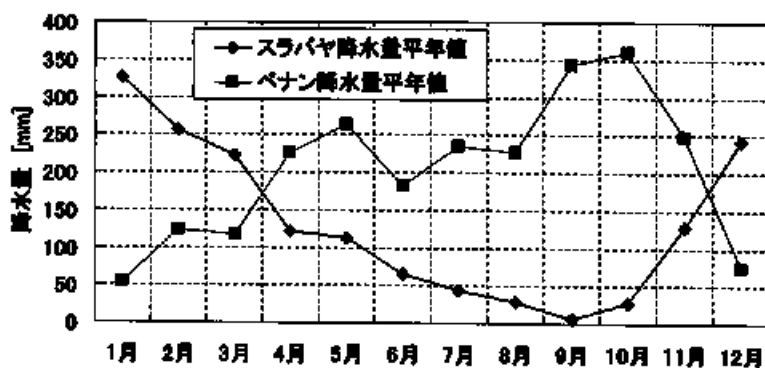


図 2-7 月別の降水量の平年値

c) 外部風速

スラバヤ (Juanda) での外部風の風速を図 2-8 に、時刻別の無風割合を図 2-9 に示す。Juanda はスラバヤ市の南部に位置している。風速の平年値は、月平均 3~3.5m/s 程度である。雨期に風速が弱く、8~11 月にやや強くなっている。2001 年では、2 月に風速が強く 9~12 月が弱くなっていた。また、午前 9:00~15:00 は風速があり、夜間 21:00 から朝にかけて無風の割合が高くなっている。

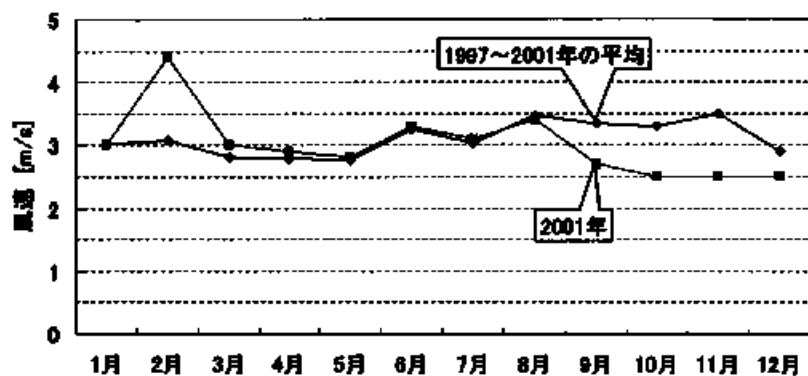


図 2-8 日平均風速の 2001 年と 1997~2001 年の平均値 (Juanda)

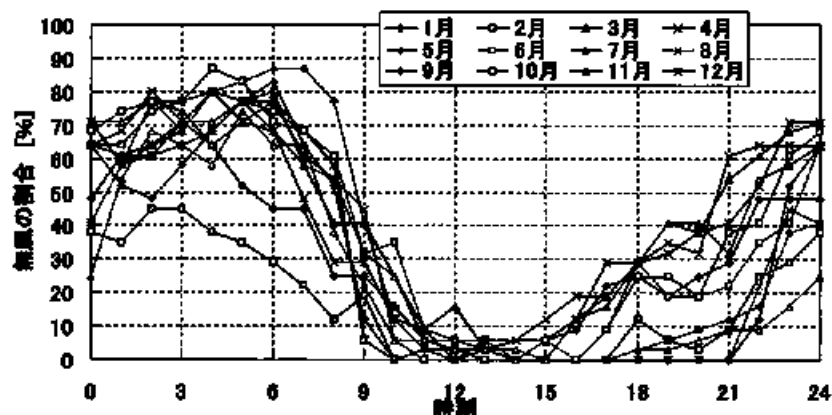


図 2-9 無風の割合 (2001 年、Juanda)

(2) 外界気候の測定結果

a) インドネシア・スラバヤ

外気温湿度および日射量

外気温湿度・日射量は、住宅の温湿度測定と並行して、スラバヤ工科大学構内にある実験住宅で測定した。測定期間は、1998 年 7 月 27 日から 8 月 7 日、1998 年 12 月 13 日から 1999 年 1 月 17 日、2001 年 2 月 11 日から 3 月 7 日であり、2002 年 7 月以降は継続的に行っている。

以下に、測定結果の一部を用いて特徴を示す。

2001 年 2 月（雨期）

図 2-10 に 2002 年 2 月の測定結果（2 月 11 日～3 月 3 日）を示す。同時に、スラバヤ市の気象台における測定値を示す。

日変化の傾向をみると、外気温度は 14:00 頃に 31℃まで上昇し、夜間は 27℃前後で推移、午前 6:00 頃に最低気温 26℃となっている。日による違いは（図 2-10（右））、±1℃程度であり、雨が降った時間帯を除けば、ほぼ毎日同じような変動をしている。日中に降水があるときには、外気温度は 4℃程度一気に低下し、夜間にかけて低い気温が保たれる。それでも夜間の気温は最も下がった場合でも 24℃であり、気温の高いことには変わりない。

一方、相対湿度は、日中には 60%程度まで低下するが、夜間は平均でも 80%以上に、高いときなど 100%付近まで上昇し、蒸し暑い状況であることが分かる。

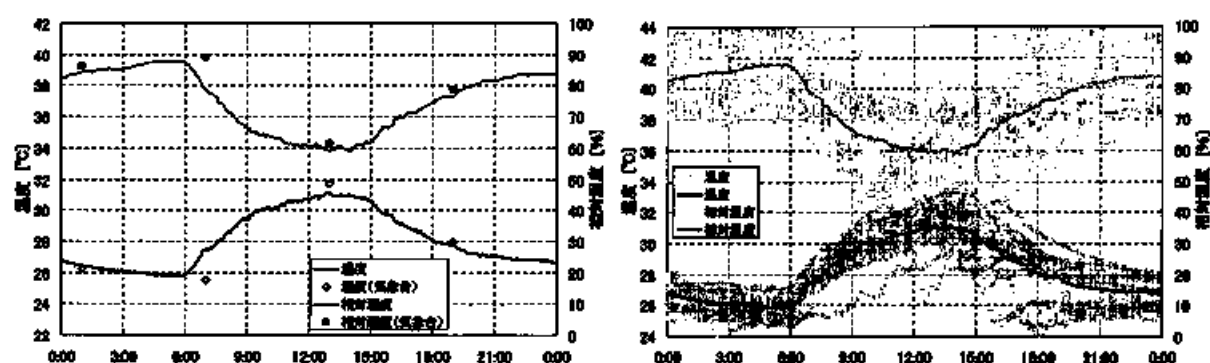


図 2-10 平均外気温度と平均相対湿度（左）と外気温度と相対湿度の測定期間の全データ（右）

（測定期間 2001 年 2 月 14 日～3 月 3 日）

2002 年 7 月（乾期）

図 2-11 に、乾期（2002 年 7 月）における気温と相対湿度の平均と全データを示す。7 月は乾期の中でも比較的気温の低い時期である。平均外気温度は、日中は 30℃近くまで上昇し、夜間は 28℃から徐々に下がりながら午前 6 時頃に最低気温 24.5℃前後となる。7 月 5 日～12 日における日による違いは、日中から夕方にかけては 1℃程度である。夜間から朝方にかけて温度が下がる日と、下がらない日が見られる。相対湿度は、日中に変動が激しく夜間は各日とも 75～85%であった。

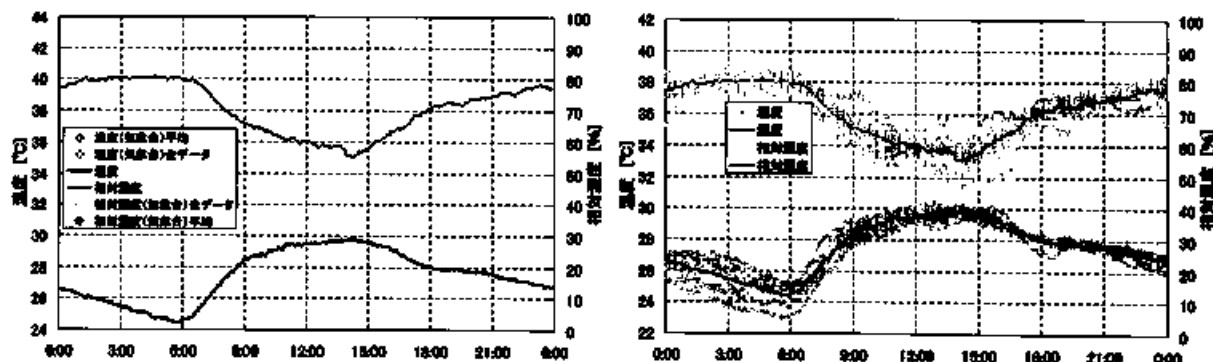


図 2-11 平均外気温度と平均相対湿度（左）、外気温度と相対湿度の測定期間の全データ（右）

（測定期間 2002 年 7 月 5 日～11 日）

図 2-12 に、2 月と 7 月の測定期間の平均温湿度を示す。日中、午前 6:00 から 15:00 頃までの外気温度は、2 月の方が 7 月よりも 1℃程度高くなっており、夜間 18:00 から 24:00 の温度はほとんど変わらない。朝方の下がり方は、7 月の方が大きい。

相対湿度は、日中は両月ともほぼ変わらず 60%程度である。15:00 から午前 6:00 頃までは、7 月の方が 5～10%程度低い。「cool season」といわれる 7 月の方が、2 月よりも一日を通して過ごしやすいたことが分かる。

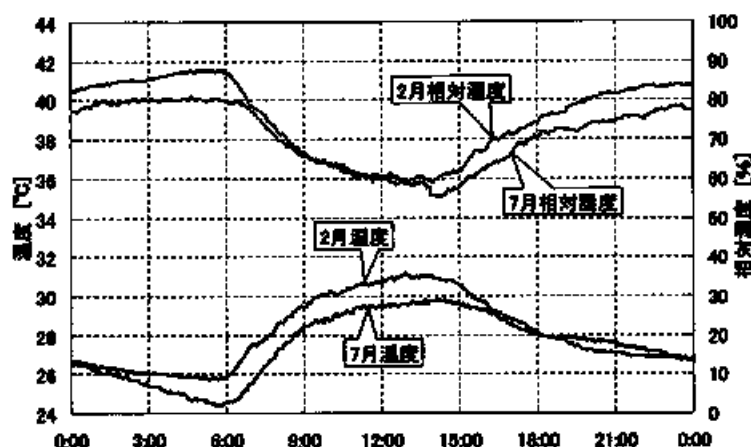


図 2-12 2 月と 7 月の温湿度測定値の比較

b) マレーシア・ペナン

外気温湿度および日射量

マレーシア・ペナンにおける調査は、2001 年 11 月 11～13 日の 3 日間、マレーシア理科大学 (USM) キャンパス内の宿泊施設において行った。外気温度は当該建物の 1 階および 2 階の高さで測定し、日射量は建物外の遮蔽物がないところで測定した。温湿度の測定にはロガー付き小型温湿度計を用い、5 分毎に測定した。

図 2-13 に 1F と 2F の北側で測定した外気温、相対湿度を示す。外気温は午前 7 時頃に最低となり、1F で約 26.1℃、2F で約 25.9℃であった。また、午後 2 時半ごろに最高となり、1F で約 33.1℃、2F で約 33.8℃であった。2F での測定値が 1F に比べて変動が大きい、これは近くの樹木による天空放射遮蔽や風速の影響などによるものと考えられる。

相対湿度は日中 55～60%、夜間に 85～90%の間を推移しており、夜間は 2F の測定値が 1F に比べて約 5%高くなっている。平均の相対湿度についても 1F が 71.6%、2F が 76.0%であり、2F のほうが全体を通して高い (図 2-13)。

図 2-14 (右) は日射量の実測結果を、3 日間重ねて示したものである。3 日ともほぼ同じような変動をしており、水平面日射量の最大は午後 1 時頃で、その値は 1000～1100W/m²である。一方、鉛直面日射量は、南向きより 32.3° 東にふれていたため、最大が午前 11 時頃になり、その値は 800～850W/m²となっている。

図 2-14 (左) は、計測した水平面全天日射量から、ベルラーゲの式とブーガの式を用いて、大気透過率を求め、天空放射と南面直達日射量を推定したものである。

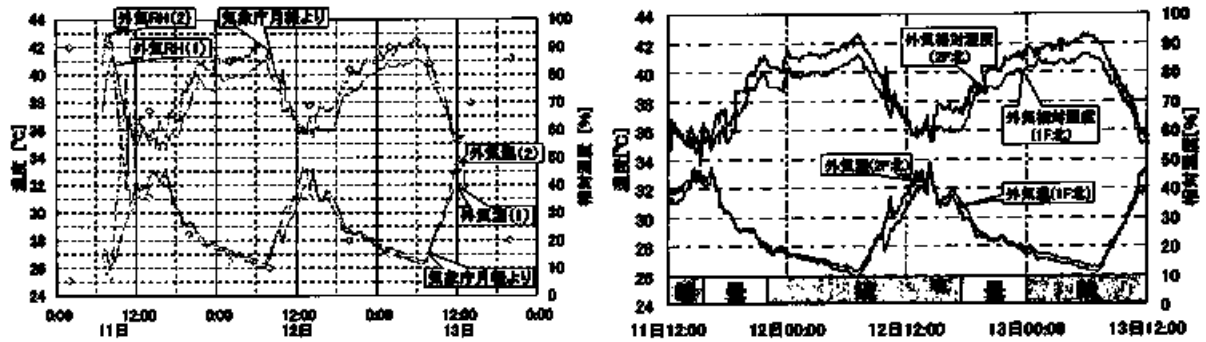


図 2-13 外気温度と相対湿度の測定結果

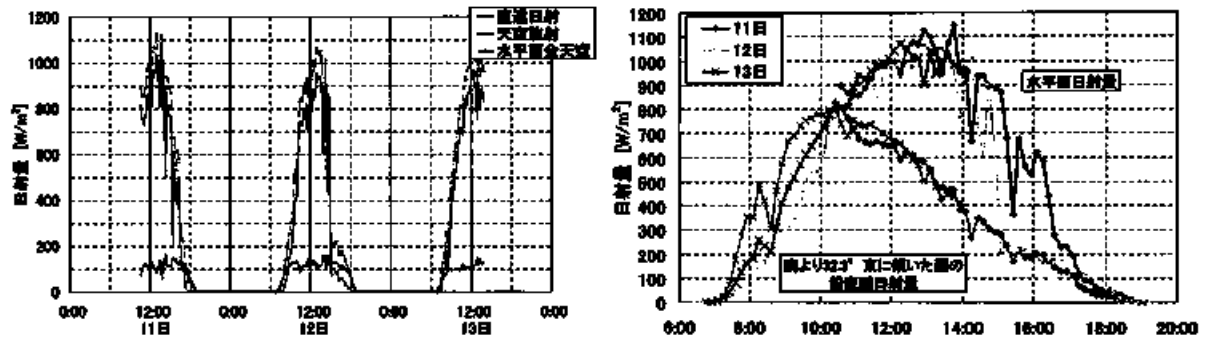


図 2-14 日射量の測定結果

2.4 インドネシアおよびマレーシアの経済状況

(1) GDP および平均的な収入

インドネシアおよびマレーシアの GDP の経年変化を図 2-15 に示す。インドネシアの 2002 年の国内総生産は、18,726,400 万 US\$ である⁶⁾。また、2002 年の 1 人あたりの GDP は 944 US\$ (106,000 円 (1\$=107 円換算)) であり、マレーシアでは 3,516 US\$ (380,000 円) である⁶⁾。日本では、32,851 US\$ (3,500,000 円) である⁷⁾。インドネシアでは階層による所得の差は大きく、平均の年収を 1 人あたりの GDP で示すことには無理があるが、目安としてあげておく。

インドネシアの統計では、最低限度の生活を送るために必要な所得を定めている。1990 年では、都市部で 1 人あたり月収 20,000Rp. (当時のレートで約 1500 円) であり、それ以下の水準を貧困層と規定している⁸⁾。貧困率は、2001 年の調査では全人口の 13% である⁹⁾。平均的な収入を示すことは困難であるが、例えば、スラバヤ市で一般的な共働きオフィスワーカーの月収は 2,000,000Rp. (27,000 円程度 (75Rp.=1 円として換算))、年収にすると 24,000,000Rp. (320,000 円) 程度である。

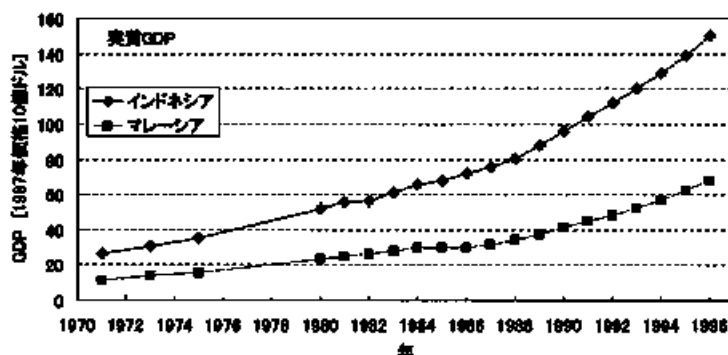


図 2-15 インドネシアおよびマレーシアの GDP¹⁰⁾

(2) エネルギー消費量

図 2-16 にインドネシア、マレーシア、日本の最終エネルギー消費量 (石油換算) を示す。1996 年の時点で、インドネシアの最終エネルギー消費量は日本の 1/6 程度である。1970 年からの伸びは、日本が 1.7 倍に対して、インドネシアでは 7 倍、マレーシアでは 6 倍程度となっており、経済発展に伴うエネルギー消費の増大が伺える。

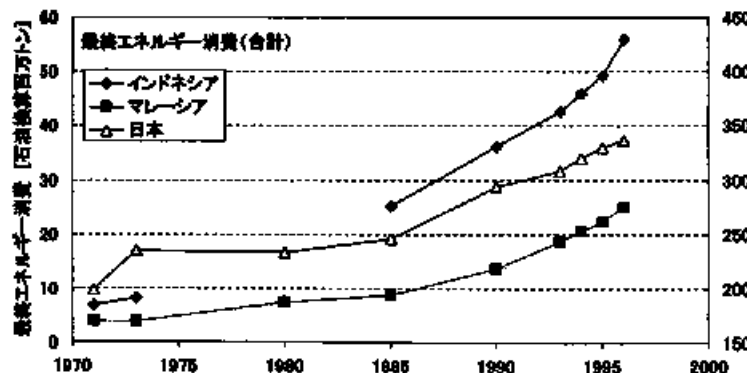


図 2-16 最終エネルギー消費 (合計) (左軸：インドネシア・マレーシア、右軸：日本)

a) 日本 (図 2-17)

産業部門でのエネルギー消費は 1985 年以降やや増加の傾向にある。交通と民生・農業部門では、1970 年以降エネルギー消費が伸び続けており、全体のエネルギー消費が増加している原因となっている。また、最終エネルギー消費量全体に占める交通と民生の割合が徐々に多くなっている。

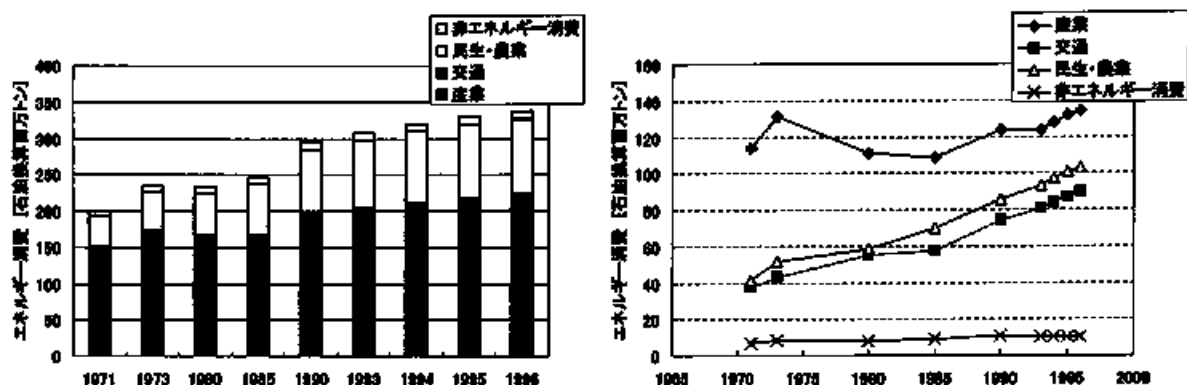


図 2-17 分野別の最終エネルギー消費量 (日本) ¹¹⁾

b) インドネシア (図 2-18)

インドネシアでは、産業、交通、民生・農業各部門の占める割合が全体の 1/3 ずつを占めており、それぞれが同様に増加してきている。1996 年の時点で日本と比較すると、産業では 1/7、交通が 1/5、民生が 1/6 程度である。国土が広いため (日本の 5 倍)、交通分野でのエネルギー消費量が多くなっている。また、人口が世界第 4 位であるために民生用エネルギーの増加も著しい。

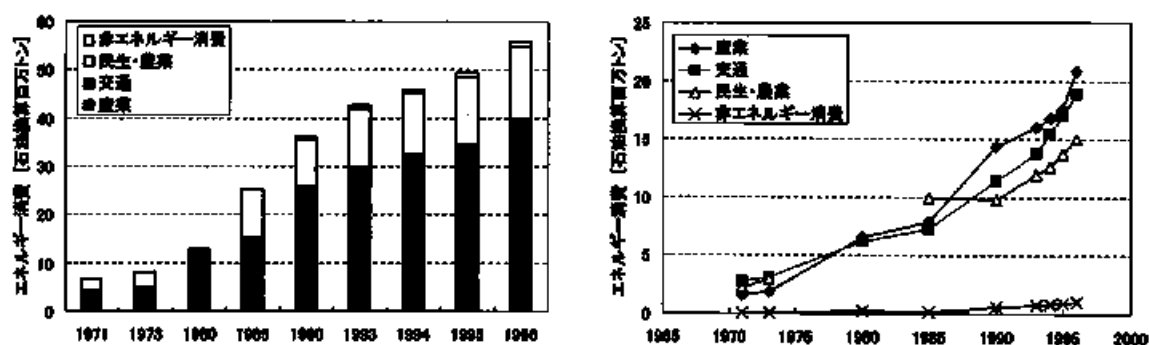


図 2-18 分野別の最終エネルギー消費量 (インドネシア) ¹²⁾

c) マレーシア (図 2-19)

マレーシアでは、日本やインドネシアと違い産業と交通の伸びが大きく、民生・農業に関するエネルギー消費が少ない。産業中心の国である。

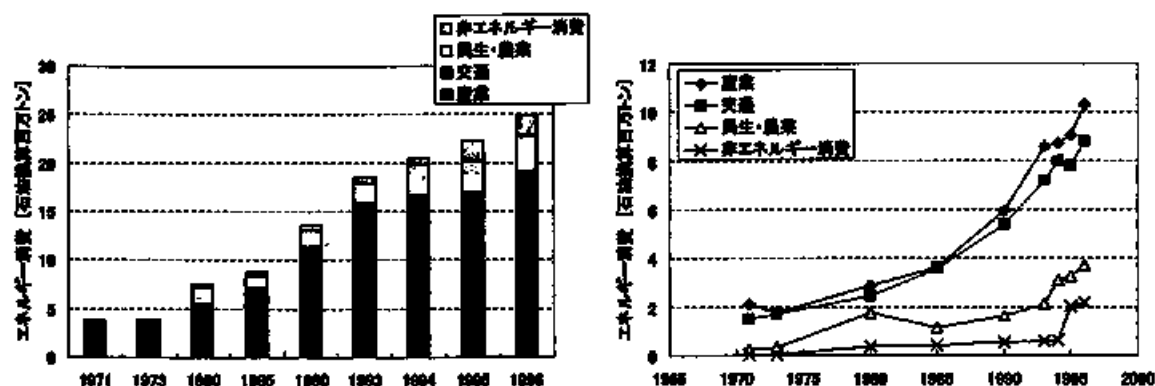


図 2-19 分野別の最終エネルギー消費量 (マレーシア) ¹³⁾

(3) 冷房普及状況

インドネシアでは、高所得者の住宅から家庭用のエアコンが普及しつつある。エアコン 1 台の価格は、中古のエアコンで 1,000,000Rp. (13,000 円 (75Rp.=1 円とする)) 程度であり、新品のものは、2,500,000~4,000,000Rp. (33,000 円~53,000 円) 程度である。スラバヤ市で一般的なオフィスワーカー共働きの住宅での月収と同程度かそれ以上となる。

インドネシアでのエアコンの生産量は、1997 年では 28,413,323,000Rp. (約 350,000,000 円) であったものが、1998 年には 57,432,102,000Rp. (約 766,000,000 円) となっている¹⁴⁾。一年間で 2 倍以上となっており、エアコンの普及が著しい。1998 年以降も同様に増加していると考えられる。

2.5 インドネシアの生活環境

(1) 生活時の服装

写真 2-1 および写真 2-2 にインドネシアにおける服装の例を示す。写真 2-1 はスラバヤ市のショッピングセンター内で、写真 2-2 は住宅調査中に撮影したものである。ショッピングセンターでは、ノースリーブシャツや半袖に長ズボン (0.5~0.6clo 相当) (写真 2-1 (左)) をはいている人から、シャツ、長ジャケット、長ズボン (0.7clo 相当) (写真 2-1 (右)) の人まで、服装の種類は幅広い。女性の服装はモダンな服装 (写真 2-1 (左)) とジルバブ姿で全身の肌を露出させない服装と 2 種類が主流である。

住宅では写真 2-2 に示すように、T シャツに短いズボン (0.3clo 相当) や、ワンピースといったややラフな服装になる。サロン (伝統的な服装で腰に巻く布) をまとっている人もいる。

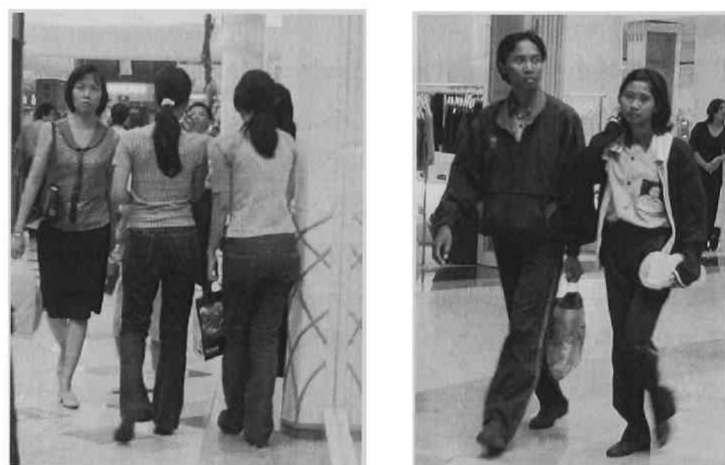


写真 2-1 服装 (ショッピングセンター内) (2002 年 7 月撮影)

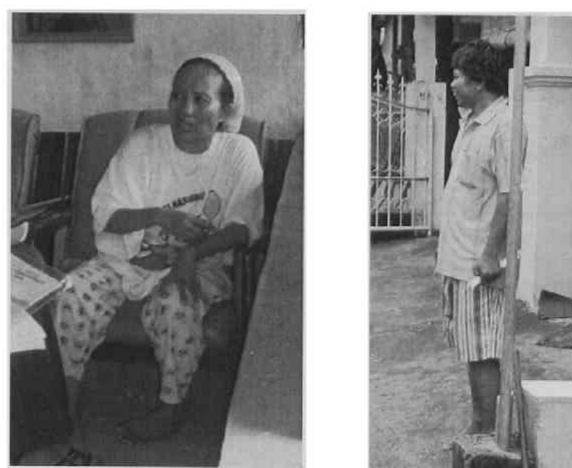


写真 2-2 服装 (住宅内) (2002 年 7 月撮影)

(2) インドネシアの住宅

東南アジアに一般的な住居は木造で、形態は高床式といわれるように居住部分は地表面より高くなっている¹⁴⁾。高床式は次のような理由で東南アジアのモンスーン気候に適応した住居であると言われている。①湿潤な気候において床下の通風をよくする、②害獣や害虫の防止になる、③洪水からの安全性を確保できる、④防犯にもなる。

インドネシアでも高床が主流であるが、ジャワ島とバリ島は土間式もしくは土間を上げた形式となっている¹⁵⁾。ジャワ島とバリ島も、もとは高床式であったものが次第に土間式に変化してきた。ジャワ住宅の土間式への変化は、中国文化の影響によるとする説、大地との直接の接触を好むヒンドゥー教の影響説、高床式がヒンドゥー思想としてイスラムに排除されたとの説など、様々な説がある。また、木材が十分に手に入らなかったために、木造の住宅を建てられないという説もある。

伝統的な村落の住宅では、家屋に炉をもうけ、床下で家畜を飼い、窓のない住宅が多かった¹⁶⁾。しかし、これらはオランダ植民地時代に不衛生で改善すべきものと見なされた。その結果、「近代的」住宅として室内に炉を持たない地床式の住宅が普及していった。

インドネシアの都心部の住宅で最もシンプルなのは、家屋がワンルーム（客間兼寝室）からなり、台所と浴室（トイレ兼用）が外にあるものである。貧困層の住宅に多く見られる。このシンプルな住宅が経済状況に応じて増築されていく。客間兼寝室が分離し、さらに住宅が大きくなると、食堂、台所、浴室が家の中に取り入れられる。ドアを開けるとすぐに客間（居間）に入れるものである。玄関に相当するものはなく、外部に対して開放的な居間を持っている¹⁷⁾。高級住宅地になると、西洋的なコロニアルスタイルが一般的になっている。

2.6 第2章のまとめ

本章では、本論文の検討対象である高温多湿地域にあるインドネシアとマレーシアについて、気候やエネルギー消費量などの地域特性について簡単にまとめた。対象地域はともに熱帯モンスーン気候下にあり、年間を通して高温多湿であり平均気温は26～28℃である。

地域統計データとしては、GDPやエネルギー消費量の統計的な資料を基に、経済発展に伴いエネルギー消費量が増大している傾向を、日本との比較を通して示した。また、エアコンの普及状況についても、生産台数の大幅な増加の傾向を示した。

インドネシア・スラバヤに関しては、一般的な生活環境のうち本論文に密接に関係する要因として、居住者の服装と住宅について説明した。

本章で示した気候特性は、第3章においては住宅の温熱環境を分析する上での基礎的資料として、第4章・第5章での住宅の温熱環境の解析においては外部環境の入力データとして使用される。

参考文献

- 1 気象庁月報 2001 年：気象庁監修（財）気象業務支援センター、平成 13 年 1～12 月
- 2 気象庁月報 2001 年：気象庁監修（財）気象業務支援センター、平成 13 年 1～12 月
- 3 気象庁月報 2001 年：気象庁監修（財）気象業務支援センター、平成 13 年 1～12 月
- 4 石井米雄ら監修：東南アジアを知る辞典、平凡社、p. 357、1991 年
- 5 （財）海外職業訓練協会、各国の情報（インドネシア）：<http://www.ovta.or.jp/info/asia/indonesia/>、2003 年 12 月時点
- 6 （財）海外職業訓練協会、各国の情報（マレーシア）：<http://www.ovta.or.jp/info/asia/malaysia/>、2003 年 12 月時点
- 7 （財）海外職業訓練協会、各国の情報（日本）：<http://www.ovta.or.jp/info/asia/japan/>、2003 年 12 月時点
- 8 小池誠：新アジア生活文化読本 インドネシア、pp.184-187、三修社、1998 年 8 月
- 9 （財）海外職業訓練協会、各国の情報（インドネシア）：<http://www.ovta.or.jp/info/asia/indonesia/>、2003 年 12 月時点、元出典：World Bank Statistics
- 10 Energy Statistics of Non-OECD Countries 1997-1998 2000 年版：IEA
- 11 Energy Statistics of OECD Countries 1997-1998 2000 年版：IEA
- 12 Energy Statistics of Non-OECD Countries 1997-1998 2000 年版：IEA
- 13 Energy Statistics of Non-OECD Countries 1997-1998 2000 年版：IEA
- 14 Statistics Indonesia、<http://www2.bps.go.id/>
- 15 ロクサーナ・ウォータソン、布野修司監訳：生きている住まい、学芸出版社、1997 年
- 16 布野修司：住まいの夢と夢の住まい アジア住居論、朝日新聞社、1997 年
- 17 布野修司：アジアの都市型住居に関する研究、第 2 章、アジア都市建築研究
- 18 小池誠：新アジア生活文化読本 インドネシア、pp.126、三修社、1998 年 8 月
- 19 小池誠：新アジア生活文化読本 インドネシア、pp.126-127、三修社、1998 年 8 月

第3章 室内温熱環境の実態把握

3.1 はじめに

3.2 インドネシア・スラバヤにおける既存住宅の温熱環境調査

- (1) 既存住宅の温熱環境調査の概要
- (2) 外気温・湿度・日射量の測定結果
- (3) 住宅温熱環境に関するアンケート調査の結果
- (4) 住宅の温熱環境測定結果
- (5) 年間のエネルギー消費量

3.3 冷房の普及状況と冷房使用時の温熱環境についての調査

- (1) 学生を対象としたエアコンの使用に関するアンケートの結果
- (2) 戸建住宅を対象としたエアコンの使用に関するアンケート調査
- (3) 戸建住宅を対象としたエアコンの使用に関する調査結果
- (4) エアコンの使用状況とエアコン使用時の温熱環境

3.4 第3章のまとめ

第3章 室内温熱環境の実態把握

3.1 はじめに

常時高温多湿の地域は、欧米や日本などの温暖地や寒冷地とは全く違った環境下にある。欧米や日本では、省エネルギー住宅や環境負荷低減のための建築的手法に関する研究や開発が進められている。しかし、東南アジアなどでは、伝統的な住宅における環境負荷低減のための技術が一部残り使用されているものの、現在、変化しながら建てられつつある住宅に関しては、高温多湿下における快適な室内温熱環境を確保するための建築的手法という観点よりの研究はほとんどなされていない。

地域気候に適した建築的手法の検討や開発のためには、その地域の気候や生活についての理解が必要であるが、高温多湿気候において一般住宅を対象とした温熱環境に関する調査研究はほとんどなされていない。

本章では、インドネシア・スラバヤの一般住宅を対象に行った温熱環境調査と温熱環境に関する居住者の意識調査の結果を踏まえて、求められる室内温熱環境を明らかにする。以下の項目について検討する。

- (1) 住宅の温熱環境に対する居住者の評価
 - ・住宅で求められる温熱環境について
 - ・現状の住宅温熱環境をどのように感じているのか
- (2) 現状の温熱環境について
 - ・一般住宅の居間・寝室の温熱環境
 - ・エアコンを使用している住宅での温熱環境について
- (3) エアコンを使用することに関してどう感じているか

以上について、住宅の温湿度測定と居住者へのアンケート調査の結果より考察する。

3.2 インドネシア・スラバヤにおける既存住宅の温熱環境調査

スラバヤ市の戸建住宅、集合住宅を調査対象として、居間と寝室での温熱環境調査と居住者に対するアンケート調査を行った。

(1) 既存住宅の温熱環境調査の概要

a) 調査対象地域

温熱環境調査の対象としたのは、インドネシアのスラバヤ市である。(図 3-1)

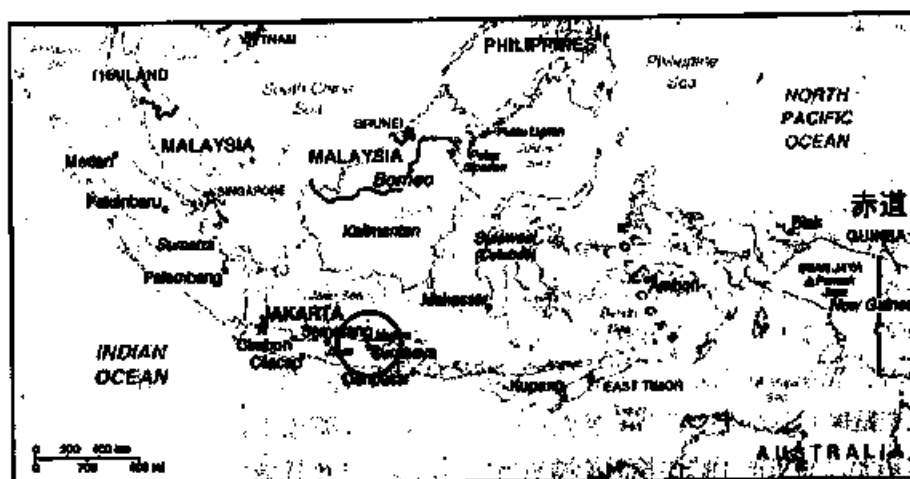


図3-1 インドネシアの地図とスラバヤの位置

b) 調査時期

調査は、2001年2月（雨期）、2002年7月および11月（乾期）、2003年2月（雨期）、2003年8月（乾期）に行った。これらは、一年を通して温湿度の差が小さいスラバヤにおいても、特徴的な時期として選んだものである。

2月は最も雨の多い時期であり、気温が比較的高く湿度も高い。

7月と11月は乾期であり、一日を通して比較的湿度が低い。7月は乾期の中でも気温の低い時期であり、「Cool Season」と言われている。また、11月は一年のうちで最も気温の高い時期である。

c) 調査内容

表3-1に温熱環境調査の調査時期および対象住宅を示す。表中の戸建住宅（タイプA）、戸建住宅（タイプB）の内訳についてはd)で説明する。また、対象とした住宅のあるエリアを図3-2の中に示す。

表3-1 温湿度測定とアンケート調査

	調査時期	温湿度測定	アンケート調査
調査1	2001年2月（雨期）	戸建住宅（タイプA）、集合住宅、 戸建住宅（タイプB）	アンケート1
調査2	2002年7月（乾期）	戸建住宅（タイプB）（5軒）	アンケート2
調査3	2002年11月（乾期）	戸建住宅（タイプB）（1軒）	アンケート2
調査4	2003年2月（雨期）	戸建住宅（タイプB）（1軒）	アンケート3、4
調査5	2003年8月（乾期）	戸建住宅（タイプB）（1軒）	アンケート5

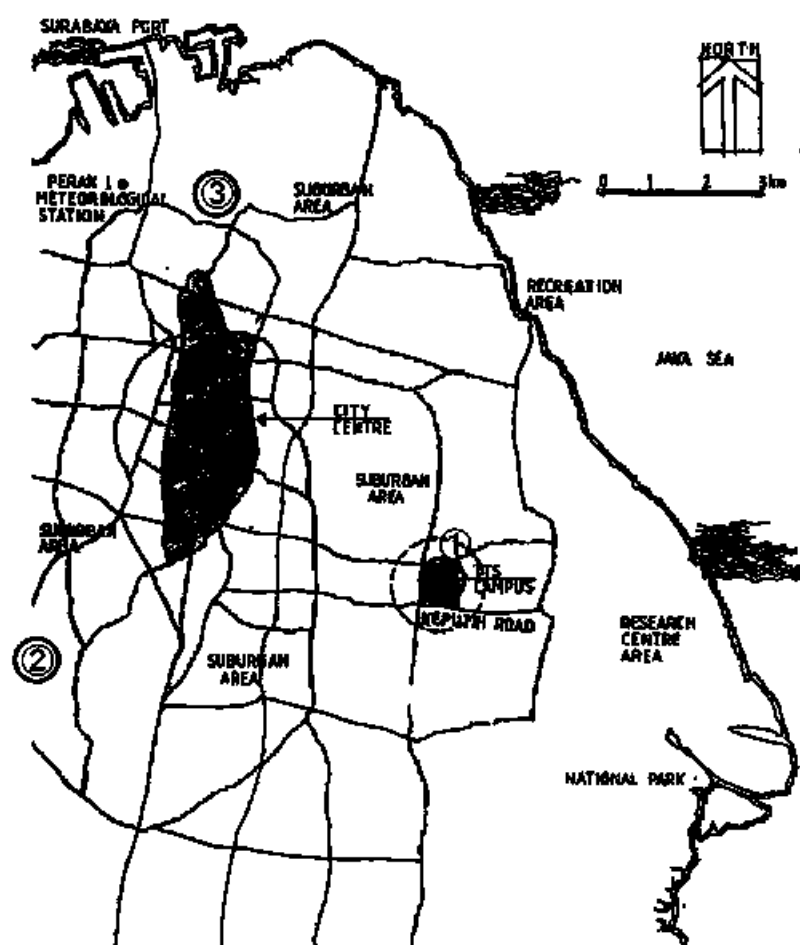


図 3-2 スラバヤ市と対象地域

d) 調査対象とした住宅の種類

本研究では、住宅の構造や平面計画、エアコンの有無、それらによって形成される温熱環境などには、所得の違いが大きく影響していると考え、所得によって居住者を低所得者層、中所得者層、高所得者層と分類している。また、住宅も所得で区分している。所得は2002年7月の調査2で調べている。ここで、低所得者層の住宅とは、住宅の月収がおおよそ1,500,000Rp. (約20,000円 (75Rp. = 1円、2003年12月現在)) 未満の住宅であり、中所得者層の住宅とは1,500,000～2,500,000Rp. (20,000～35,000円)、高所得者層の住宅とは2,500,000Rp. (35,000円) 以上の住宅としている。

温湿度測定調査の対象とした住宅は、主に低所得者層の住民が居住している戸建住宅 (タイプA) と主に中所得者層の住民が居住している戸建住宅 (タイプB)、主に低所得者層の住民が居住している集合住宅である。戸建住宅 (タイプA) は、スラバヤ工科大学 (ITS) の敷地内 (図 3-2①) にあり、戸建住宅 (タイプB) は図 3-2②に建つ住宅である。集合住宅として、スラバヤ市の北部にあるソンボ団地 (図 3-2③) を選んだ。

温熱環境に関するアンケート調査の対象としては、戸建住宅 (タイプA) と戸建住宅 (タイプB) に加えて、それぞれの地域内にある住宅およびスラバヤ工科大学周辺の戸建住宅を選んだ。低所得者から高所得者まで幅広い種類の住宅の居住者を選択した。

e) 調査対象住宅の概要

戸建住宅

表 3-2 に調査 1 で対象とした戸建住宅の概要を示す。

戸建住宅としては、図 3-2 内の①と②の地域にある住宅を選択している。①にある住宅のうち、調査 1 で対象とした住宅は図 3-3 に示す平面をしており、本論文ではこれを戸建住宅(タイプ A)とした。調査 1 において、①の地域より選択した戸建住宅は全て低所得者層であった。

典型的な住宅の平面は図 3-3 に示すようなものであるが、そのほかの住宅も、増築面積に若干の違いはあるがほぼ同様の平面をしている。すなわち、建設当初の床面積は 36 m²で、居間と 2 つの寝室とカマル・マンディ（風呂およびトイレ）で構成されていたが、これらに加えて玄関前のポーチと裏側の台所が増築されている。それは全ての住宅に共通である。図 3-3 に示すように、住宅正面には日よけのためにポーチを設ける家が多く、ポーチには簾を設置したり植栽するなどして、室内への日射入射を少なくしている（写真 3-1 および写真 3-2）。

壁体の仕様は表 3-2 に示すとおりであり、台所の壁は合板、屋根はトタンであった。測定を行った住宅には天井が張られていないものもあった。

表 3-2 戸建住宅の概要

	戸建住宅 (タイプ A)	戸建住宅 (タイプ B)
床面積	約 40 m ²	60～90 m ²
屋根	トタン	クレイタイル
天井	なし・合板	合板・アスベスト
壁	コンクリートブロック	煉瓦ブロック
床	タイル・モルタル仕上げ	タイル・モルタル仕上げ

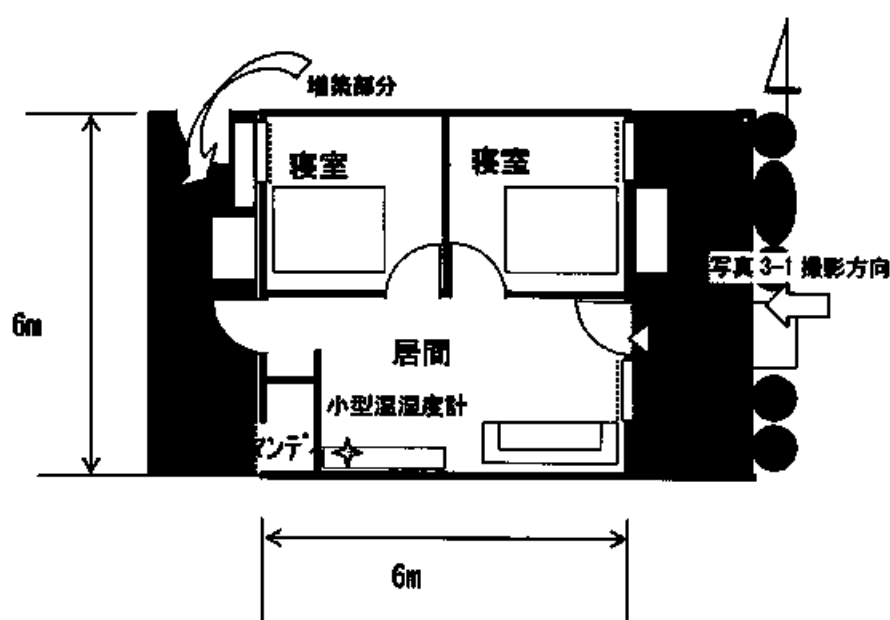


図 3-3 戸建住宅 (タイプ A) の平面図



写真 3-1 戸建住宅（タイプ A）正面からの写真



写真 3-2 戸建住宅（タイプ A）の外観

戸建住宅（タイプ B）として、スラバヤ工科大学周辺（図 3-2②）の 10 軒の住宅を選択した。戸建住宅の居住者は中所得者層と高所得者層であった。図 3-4 に最も基本的な住宅の平面図を示す。住宅の床面積は 60～90 m²であり、居間と 2 つの寝室、台所、カマル・マンディがある。これらに加えて 1～4 部屋が増築されている住宅や、2 階が増築されている住宅もある。主に低所得者が居住している戸建住宅（タイプ A）と比較すると、開口部が大きくとられており日中の室内は明るい。

2001 年 2 月時点では、測定を行った 10 軒のうち 4 軒は寝室でエアコンが使用されている。

調査 2（アンケート 2）以降においては、戸建住宅（タイプ A）、戸建住宅（タイプ B）の居住者に加えて、スラバヤ工科大学周辺の戸建住宅からも回答を得た。調査を行った戸建住宅の外観を写真 3-5 および写真 3-6 に示す。これらの戸建住宅は中所得者層および高所得者層に分類さる。床面積は 200～400m²程度で、中には 2 階建てのものも含まれており、住宅のタイプは様々であった。戸建住宅（タイプ A）や（タイプ B）と比較すると開口部の面積が大きい。開口部には網戸付の扉や窓が設けられている場合がある。屋根はクレイタイルもしくはセラミックタイル、壁がレンガもしくはコンクリート造となっていた。ほとんどの住宅でエアコンが使用されており、中には複数台所有している住宅もあった。

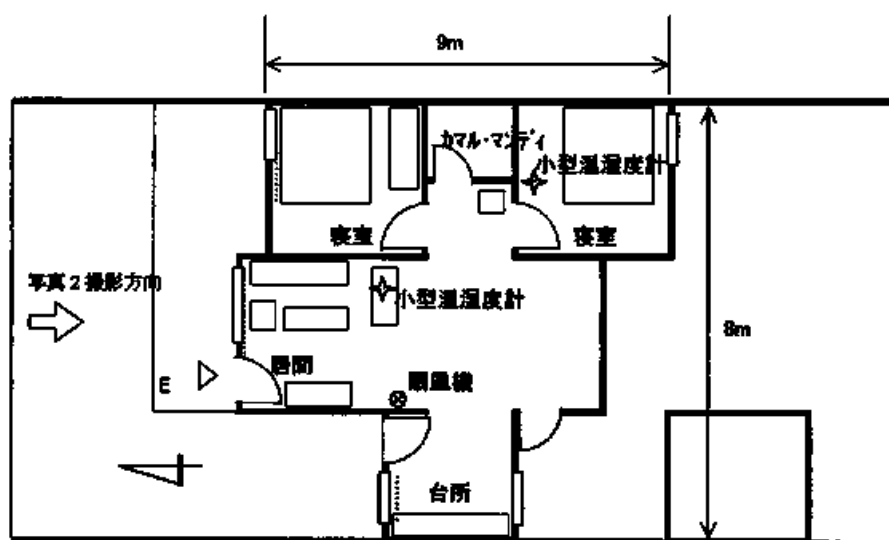


図 3-4 戸建住宅（タイプ B）の平面図



写真 3-3 戸建住宅（タイプB）正面からの写真



写真 3-4 戸建住宅（タイプB）の外観



写真 3-5 戸建住宅（高所得者）正面からの写真



写真 3-6 戸建住宅（高所得者）

集合住宅

集合住宅として、スラバヤ市北部のソンボ団地（A棟・4階建）を選び調査を行った（図3-5）。この建物は、カンボン改善事業（KIP：Kampung Improvement Program）¹¹の一貫として、1989年に建てられた低所得者用の集合住宅である。KIPとは、1960年代後半からインドネシアで行われている住宅改善事業のことである。住戸1ユニットは18㎡であり、1階の住宅には1.5m×1.5mのカマル・マンディと1.5m×1.5mのテラスが設けられており、2階以上には3m×1.5mのベランダが設けられている（カマル・マンディは共用となっている）。2階以上の住宅は中廊下の共用空間に面しており、日中は共用空間で過ごす人が多い。共用空間は、子供の遊び、休息、商業活動などの多様な活動のための場所として使われている^{21, 22}。

写真3-7に示すように、ベランダには大きな庇があり、さらに各住戸とも窓を布で覆うなどの工夫をしているため、室内には日射がほとんど入らない。この地域の北側には海があり外部風速が強く、北側の住戸では共用空間側とベランダ側の扉を開ければ風通しが確保される。風速は、北側が南側よりも、上階が下階よりも大きい。1階では共用空間側の扉を閉じている住宅が多く、室内での風は弱い。

表3-3 集合住宅の概要

構造	RC造
各住戸の床面積	18㎡（3m×6m）、ベランダ4.5㎡（3m×1.5m）
屋根	クレイタイル
天井	アスベスト、合板のいずれか、または、なし
壁	モルタル仕上げ
床	モルタル、タイル、ビニールクロス仕上げ

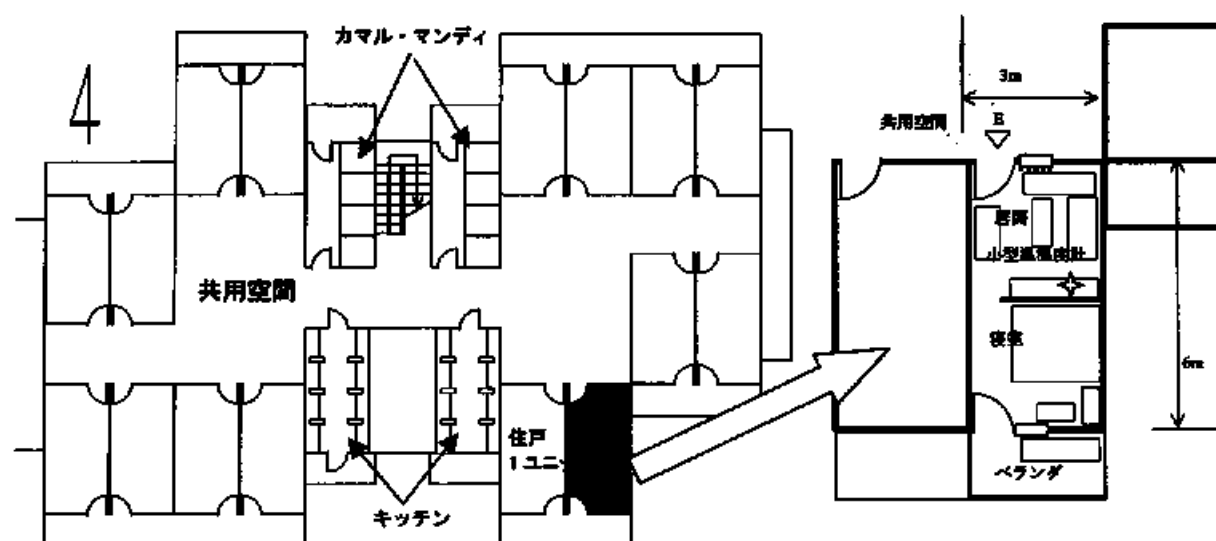


図3-5 低所得者用の集合住宅の平面図



写真 3-7 低所得者用の集合住宅の外観



写真 3-8 集合住宅の共用空間

0) 調査対象住宅の内訳

表 3-4、表 3-5、表 3-6 に、温熱環境調査を行った対象住宅の数とアンケート対象者の数を示す。

温湿度測定の対象住宅の内訳

表 3-4 に温湿度測定の対象とした住宅の数を示す。調査 1 (2001 年 2 月 (雨期)) では、戸建住宅 (タイプ A) 7 軒、集合住宅 11 ユニットを対象に居間の温湿度測定を行った。また、戸建住宅 (タイプ B) では、10 軒において居間と寝室 (1 カ所) の温湿度測定を行った。ただし、戸建住宅 (タイプ A) では 1 軒、戸建住宅 (タイプ B) でも 1 軒で測定ミスがあったので表 3-4 ではその住宅を除いた住宅数を示している。戸建住宅 (タイプ B) の 10 軒中 4 軒は寝室にエアコンを設置している住宅であった。

調査 2 (2002 年 7 月 (乾期)) では、戸建住宅 (タイプ B) の 5 軒を対象に、居間と寝室 (2 カ所) の温湿度測定を行った。5 軒のうち 4 軒では寝室にエアコンを設置していた。2002 年 7 月以降は、戸建住宅 (タイプ B) のうち 1 軒の居間と寝室 (2 カ所) を対象に、年間を通しての温湿度測定を行っている。

温湿度の測定にはロガー付き小型温湿度計を用い、居間・寝室の棚上などの生活に支障をきたさない場所に設置した。調査中の外気温・日射量は、スラバヤ工科大学構内にある実験住宅で測定した。

アンケート調査対象の内訳

温湿度測定と並行して、図 3-2①～③に示す地域の居住者を対象にアンケート調査を行った。表 3-8 にアンケート調査の時期とアンケートの内容を示す。

調査 1 (2001 年 2 月 (雨期)) には、住宅温湿度測定を行った住宅の主婦を中心に、日中と夜間の室内の快適感・温冷感などについてアンケートを行い、全体で 28 人から回答を得ている (表 3-8 アンケート 1)。

調査 2 (2002 年 7 月 (乾期)) と調査 3 (2002 年 11 月 (乾期)) では、幅広い階層・職業の住民を対象にして、一日を通しての室内での快適感・温冷感の調査に加えて、冷房設備に関してアンケートを行った。調査 2 (7 月) では 117 人、調査 3 (11 月) では 55 人から回答を得ている (表 3-8 アンケート 2)。月収による回答者の内訳は表 3-6 に示すとおりであり、アンケート 2 では低所得層と中所得層からほぼ同数から回答を得ている。職業の内訳を表 3-7 に示す。

調査 4 (2003 年 2 月 (雨期)) では、それまでに調査を行った住宅と居住者 (主に主婦) を対象に、エネルギー消費量や所得などの住宅の詳細に関するアンケート調査を行った (表 3-8 アンケート 3)。また、冷房を使用している居住者に対しては、冷房の使用状況についてのアンケート調査を同時に行った (表 3-8 アンケート 4)。

調査 5 (2003 年 8 月 (乾期)) では、エアコンを使用している住宅の室内環境の詳細を把握するために、エアコン使用時の室内環境と使用者の着衣状態や温冷感、体調などに関してアンケートを行った (表 3-8 アンケート 5)。

アンケート調査と温湿度測定調査の関連を表 3-1 に示す。

表 3-4 温湿度測定の対象とした住宅数（測定ミスは除く） [軒]

	調査 1 2001 年 2 月	調査 2 2002 年 7 月	調査 3 2002 年 11 月	調査 4 2003 年 2 月
戸建住宅（タイプ A）	6			
集合住宅	11			
戸建住宅（タイプ B）	9（3 軒は高所得）	5（4 軒は高所得）	1	1

表 3-5 アンケート調査の対象とした住宅数 [軒]

	調査 1 2001 年 2 月	調査 2 2002 年 7 月	調査 3 2002 年 11 月	調査 4 2003 年 2 月
低所得者（戸建）	7	18	12	15
低所得者（集合）	11			
中所得者（戸建）	10	21	8	20
高所得者（戸建）		16	6	15
合計	28	55	25	50

表 3-6 アンケート調査の対象とした居住者数 [人]

	調査 1 2001 年 2 月	調査 2 2002 年 7 月	調査 3 2002 年 11 月	調査 4 2003 年 2 月
低所得者（戸建）	7	34	24	
低所得者（集合）	15			
中所得者（戸建）	10	39	14	
高所得者（戸建）		34	14	
開借りの学生	17	10	3	
合計	49	117	55	

表 3-7 アンケート 2 でのアンケート回答者の職業 [人]

	低所得者	中所得者	高所得者
主婦	9	4	9
会社員	18	18	12
学生	5	7	7
サーバント	0	1	0
無職	1	1	1
無回答	1	8	6
合計	34	39	34

表 3-6 アンケート調査の時期と内容

調査番号	アンケート内容	調査時期
アンケート 1	① 住所、居住人数、収入、出身地、居住年数 ② 平面図、床面積 ③ 使用燃料 ④ 建物（床・壁・天井・屋根）の構造と仕上げ ⑤ 居室・外部空間・共用空間での（日中／夜間）の快適感、温冷感、不快と感じるその理由、暑いときの対処法 ⑥ 居室・共用空間での（日中／夜間）の明るさ感、明るさに対する満足度 ⑦ 扇風機・エアコン・照明器具の所有数と使用頻度、冷房の必要性	2001 年 2 月
アンケート 2	① 氏名、住所、年齢、性別、収入 ② 床面積、電気使用料 ③ 住宅での滞在時間 ④ 居室での（朝／日中／夕方／夜間）の快適感、温冷感、不快と感じるその理由、暑いときの対処法 ⑤ 扇風機・エアコンの所有数と使用時間、使用方法 ⑥ 冷房使用時の設定温度、快適感、温冷感、必要性 ⑦ 居室での（日中／夜間）の窓の開閉状況	2002 年 7 月 2002 年 11 月
アンケート 3	① 氏名、住所、年齢、性別、収入、平面図 ② 電気使用料、使用電気器具	2003 年 2 月
アンケート 4	① 氏名、住所、年齢、性別、収入、平面図 ② 電気使用料、使用電気器具 ③ エアコンを設置している部屋 ④ エアコン設置時に行った建物の改善 ⑤ エアコンを使用するときの状況、使用時間、不満など	2003 年 2 月
アンケート 6	① エアコンを設置している部屋の詳細図・気流・温度分布 ② エアコンのスイッチを ON にする人 ③ エアコンを使用しているときの温冷感（日中・睡眠時・長時間使用後） ④ 温湿度測定結果を見た後の感想 ⑤ 睡眠時の服装・毛布 ⑥ エアコン使用中もしくは使い始めてからの身体的な変化	2003 年 8 月

(2) 外気温湿度・日射量の測定結果

a) 2001 年 2 月（雨期）の結果

図 3-6（左）に 2001 年 2 月 19 日～21 日の外気温湿度を、図 3-6（右）に測定期間中の日最大値、平均値、最小値を示す。図 3-7（左）には水平面全天日射量を、図 3-7（右）には日射量の日積算値を示す。これらは、2001 年 2 月 14 日～3 月 2 日（日射量は 2 月 15 日～3 月 2 日）にわたり、スラバヤ工科大学構内の実験住宅において測定したものである。

2月19日は、測定期間中で外気温度が最も高い値を記録した日であり、午後2時前に33.5℃まで上昇している。夜間の外気温度は24～26℃の間にあり、ほとんどの日で最低気温が25℃を下回らない、日本で言うところの熱帯夜となっていた。19日の日射量は測定期間中では大きい値であり、21、22日は小さめの値であった。

図3-6（右）および表3-9に示すように、2月15日～3月2日の間の平均値は、外気温度が28.1℃、相対湿度は75.8%、日射量の積算値の平均は17,800kJ/m²であった¹⁾。日中が晴天であった2月19日、23日、26日の日射量が多くなっている。

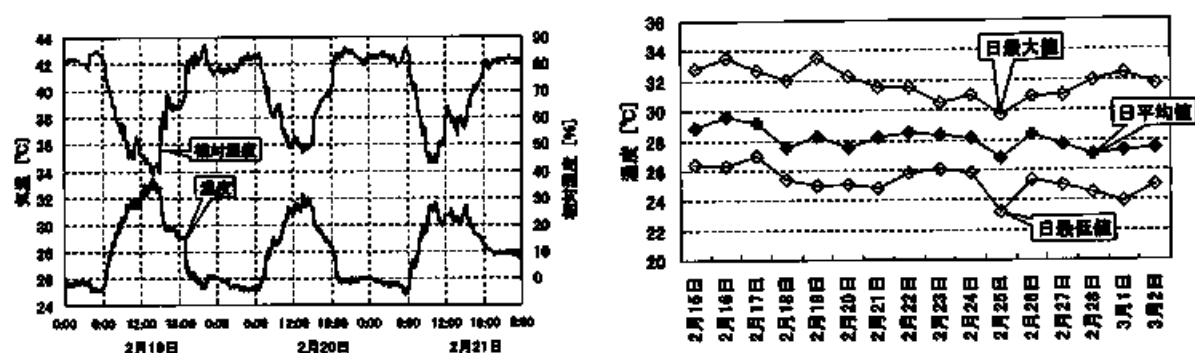


図3-6 外気温湿度（左：3日間、右：日最大値、平均値、最低値）

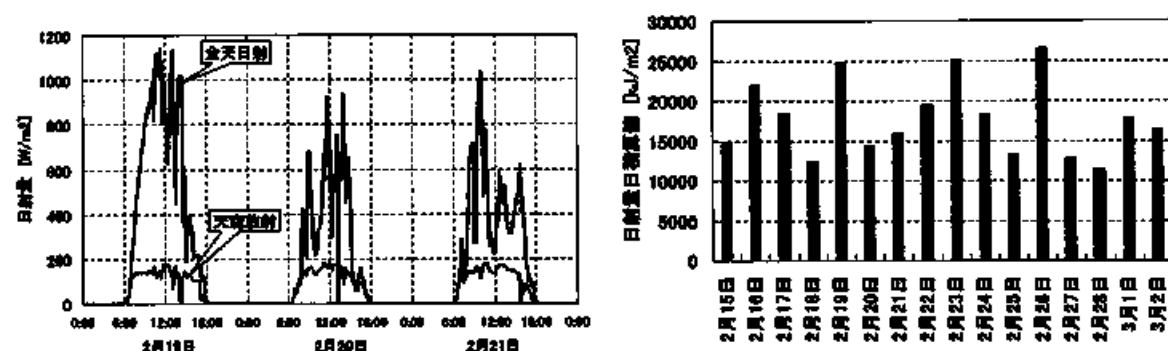


図3-7 日射量（左：3日間の水平面全天日射量と天空放射量、右：日射量の日積算値）

表3-9 測定期間中の外気温度・相対湿度・日射量の平均値（2001年2月15日～3月2日）

	温度[℃]	相対湿度[%]	日射量日積算値[kJ/m ² 日]
平均	28.1	75.8	17,800
最大値	33.5 (2/16 13:40、2/19 13:50)	99 (2/25、3/1、3/2 朝方)	26,550 (2/26)
最小値	23.2 (2/25 2:40)	39 (2/19 13:50)	11,474 (2/28)

b) 2002 年 7 月（乾期）の結果と 2 月との比較

図 3-8 に外気温湿度を、図 3-9 に日射量を示す。外気温湿度、日射量の測定は 2002 年 7 月 5～11 日に行った。

日射量の測定では、直達日射が建物などによって遮られない場所を選び、実験住宅の南側で行ったが、天空放射の一部は実験住宅によって遮られている。そこで、周辺建物によって遮られる部分を考慮して直散分離を行っている。

日射量は、測定期間中はほぼ同程度の値であった。測定期間中で外気温度が最も高い値を記録した日は 7 月 9 日であり、13:00 に 30.4℃であった（表 3-10）。2001 年 2 月と比較すると 3℃程度低くなっている。夜間は 25～27℃の間でゆっくりと降下している（図 3-8）。

7 月 5 日～11 日の平均外気温度は 27.5℃、平均相対湿度は 67%、平均日積算日射量は 23,472 kJ/m² 日であった（表 3-10）。乾期で晴天が続いたため、日射量の日変化は小さい。南中時の太陽高度が 2 月の 85.5°（20 日）と比較して、7 月は 61°と低いため、晴天の場合の南中時日射量は 2 月の方が大きい。太陽高度が高くなるのは、2 月から 3 月にかけてと 9 月から 10 月である。2 月は雨期であるため日積算日射量は小さくなるが、10 月は乾期にあたり日積算日射量が最も大きくなる。

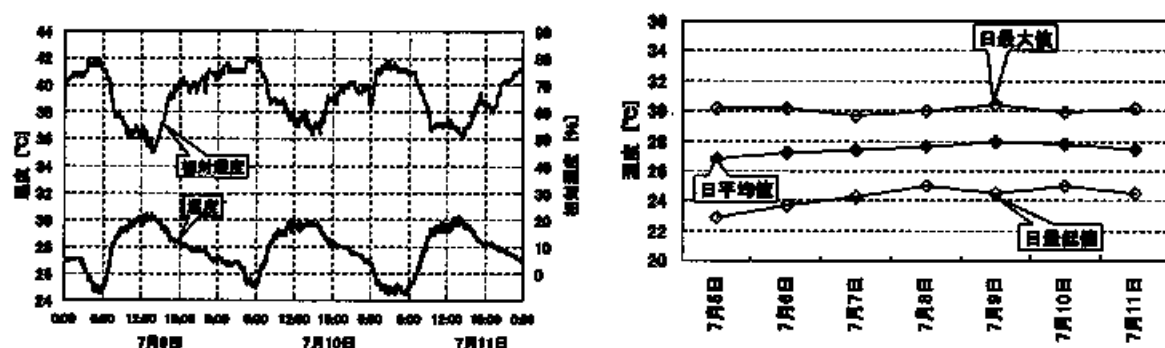


図 3-8 外気温湿度（左：3 日間、右：日最大値、平均値、最低値）

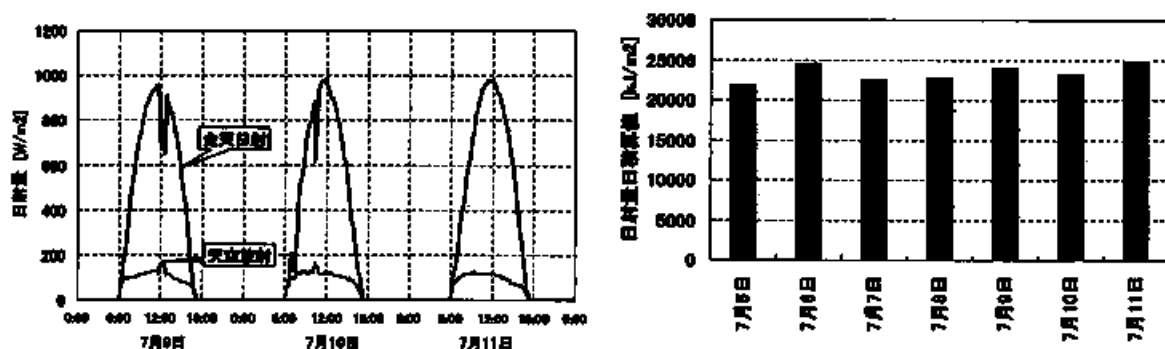


図 3-9 日射量（左：3 日間の水平面全天日射量と天空放射量、右：日射量の日積算値）

表 3-10 測定期間中の外気温湿度・相対湿度・日射量（2002 年 7 月 5 日～11 日）

	温度 [℃]	相対湿度 [%]	日射量の積算値[kJ/m ² 日]
平均	27.5	67.0	23,472
最大値	30.4 (7/9 13:00)	81 (7/7 2:55)	24,905 (7/11)
最小値	22.9 (7/5 5:30)	43 (7/5 14:55)	22,012 (7/3)

c) 雨期と乾期の比較

7月（乾期・一年で外気温度の最も低い時期）と2月（雨期）の温湿度の違いを図3-10、表3-11に示す。7月は5日～11日の7日間の時間平均であり、2月は15日～3月2日の16日間の時間平均値である。

外気温度は全体的に2月の方が高めであり、特に朝方から日中にかけては約1.5℃の差がある。夕方15時すぎから午前3時頃までは、温度の差が小さい。相対湿度は、日中は10%程度の差であった。

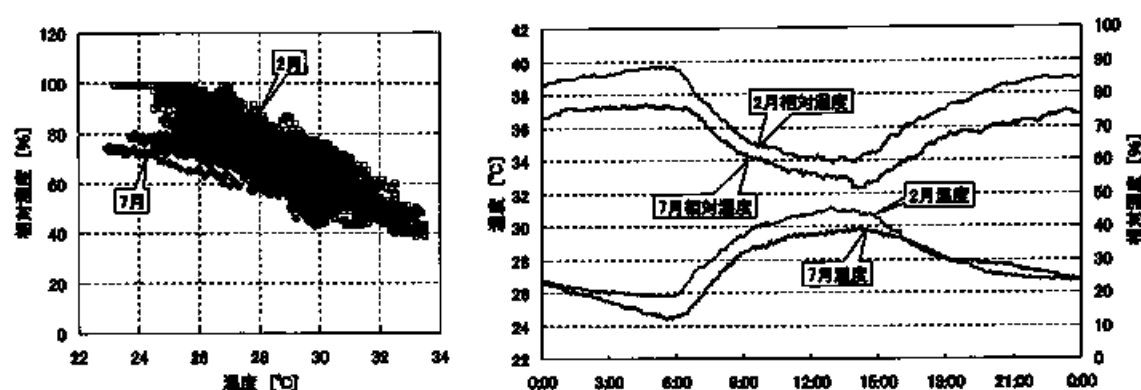


図3-10 7月と2月の外気温湿度の比較（左：散布図、右：平均値）

表3-11 測定期間中の外気温度・相対湿度・日射量（2月と7月の比較）

温度 [°C]			
	平均	最大値	最小値
2月	28.1	33.5	23.2
7月	27.5	30.4	22.9
2月-7月	0.6	3.1	0.3
相対湿度 [%]			
	平均	最大値	最小値
2月	75.6	99	39
7月	67.0	81	43
2月-7月	8.6	17	-4
日射量の積算値 [kJ/m ²]			
	平均	最大値	最小値
2月	17,800	26,550	11,474
7月	23,472	24,905	22,012
2月-7月	-5,672	1,645	-10,538

(3) 住宅温熱環境に関するアンケート調査の結果

a) 住宅の快適性と温冷感（2001年2月・雨期の住宅評価）

戸建住宅（タイプA：低所得者層）

2001年2月（雨期）におけるアンケート調査結果を以下に示す。図3-11、表3-12と表3-14に、日中と夜間の温熱環境に対する居住者の快適性評価を示す。また、暑い場合の対処法を表3-13（日中）と表3-15（夜間）に示す。対象とした住宅は全て戸建住宅（タイプA）であり、低所得者層である。

日中の快適性については半数が「やや不快」と答えている。夜間は、「やや不快」「不快」と答えた人が5軒（7軒中）である。日中も夜間も「不快」側の回答をしている人が半数以上おり、一日を通して不快な環境であるが、どちらかといえば夜間に「不快」と感じている割合が多い。暑いと感じたときの対処法としては、日中は「扇風機の使用」が6軒で最も多く、次に「窓・ドアの開放」が4軒であった。夜間も、「扇風機の使用」が6軒であるが、「窓の開放」は1軒であった。現状では夜間に窓を開放して換気を行うことが少ないが、十分な換気を行えば室温は低下すると予想される。ただ、窓を開放して換気を行えないのは防犯や蚊ためであり、防虫ネットや防犯用の柵などを設けることによって対処する必要がある。

温冷感については（表3-13）、「暑い」という回答が最も多い。その対処法としては、「暑い」と答えた人全てが「ドア・窓を開ける」と答えており、次に「扇風機を使う」が3軒であった。「やや暖かい」・「どちらでもない」・「やや涼しい」と答えた人は「扇風機を使う」と答えている。ドアや窓の開放は「暑い」時に特に行われ、「扇風機の使用」は「暑い」場合以外でも行われている。ほとんどの戸建住宅（タイプA）の室内温度は外気温度よりも高く、窓やドアを開放し外気を入れる方が室温は低くなるためであろう。

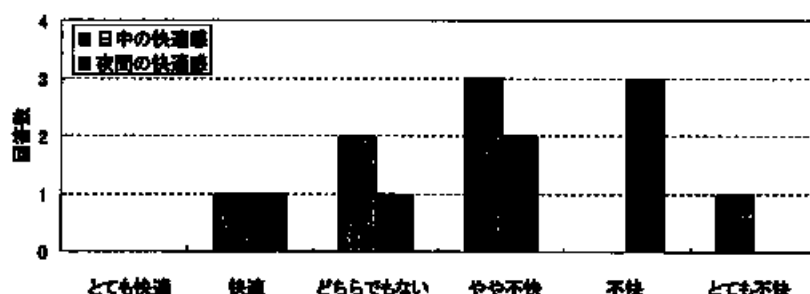


図 3-11 戸建住宅（タイプA）の温熱環境評価（計7軒）

表 3-12 戸建住宅（タイプA）の日中の「快適感」と不快な理由

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数 [人]	0	1	2	3	0	1
理由						
温度が高い				3		1
風がない			1	3		

表 3-13 戸建住宅（タイプ A）の日中の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数 [人]	4	0	1	1	1	0	0
対処法							
ドア・窓を開ける	4						
扇風機を使う	3		1	1	1		
ブラインドを使う	1						

表 3-14 戸建住宅（タイプ A）の夜間の「快適感」と不快な場合の理由

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数 [人]	0	1	1	2	3	0
理由						
温度が高い				2		
湿度が高い					2	
風がない				1	3	
無回答		1	1			

表 3-15 戸建住宅（タイプ A）の夜間の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数 [人]	5	1				(1)	1
対処法							
窓を開ける	1						
扇風機を使う	5	1					

戸建住宅（タイプ B：中所得者層）

表 3-16～表 3-19 および図 3-12 に、戸建住宅（タイプ B）の 2001 年 2 月（雨期）の快適性評価についての結果を示す。また、暑い場合の対処法を表 3-17（日中）と表 3-19（夜間）に示す。2001 年 2 月に対象とした戸建住宅（タイプ B）は、すべて中所得者層であった。これは、冷房を使用している家も含めた 10 軒の集計である（図中の◎はエアコンを所有している住宅の回答者数である）。

日中は「快適」と答える家が半数以上を占めている。「快適」と回答した家の中には、温熱感で「暑い」「暖かい」「やや暖かい」と答えた家があり、暑い環境の中でも、快適だと感じている家のあることが分かる。暑い場合の対処法としては、「ドア・窓の開放」が最も多く 6 軒、「扇風機の使用」が 4 軒、「エアコンの使用」が 2 軒であった。夜間は日中よりもやや評価が下がるが、「やや不快」と答えた家は 1 軒であった。暑い場合の対処法としては、「窓の開放」が 3 軒であり、日中の半分に減っている。「扇風機の使用」は 5 軒、「エアコンの使用」は 1 軒であった。

戸建住宅（タイプ A）と比べて、「快適」だと答える家が多く、不快の理由の中に「風がない」という回答はなかった。居間の両側に窓・ドアがあり、開け放つことによって風が入りやすく、快適な環

境を作りやすいためであると思われる。暑い場合の対処法としては、「窓・ドアの開放」が多く、風通しを重視していることが伺える。また、「通風が必要かどうか」という質問に対しては、10軒中8軒が必要だと答えており、「どちらでもない」が2軒であった。戸建住宅（タイプA）では全員が「どちらでもない」と答えていたのとは対照的に、外部風によって涼感が得られていることが分かる。戸建住宅（タイプB）では、日中に開口部を全て開放した場合には、居間中央では0.2～0.4m/sの風速が得られていた。

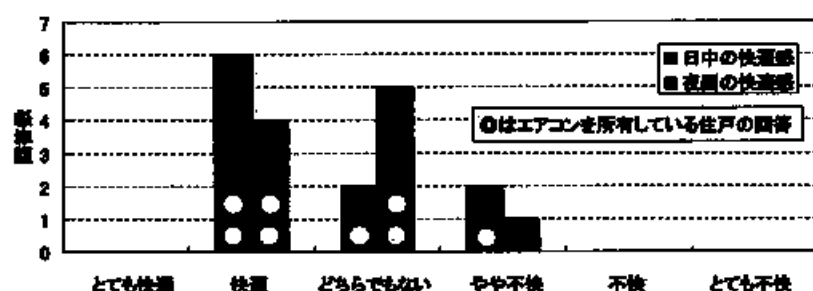


図 3-12 戸建住宅（タイプB）の温熱環境評価（計 10 軒）

表 3-16 戸建住宅（タイプB）の日中の「快適感」と不快な理由

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数 [人]	0	6	2	2	0	0
理由						
温度が高い				1		
特になし		6	2	1		

表 3-17 戸建住宅（タイプB）の日中の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	無回答
回答人数 [人]	2	1	2	3	0	1	1
対処法							
ドア・窓を開ける	1	1	1	1		1	
扇風機を使う	1	1	1				1
エアコンを使う	1			1			
ブラインドを使う	1		1				
特になし				1			

表 3-18 戸建住宅（タイプB）の夜間の「快適感」と不快な理由

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数 [人]	0	4	5	1	0	0
理由						
風がない				1		
無回答		4	5			

表 3-19 戸建住宅（タイプ B）の夜間の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数 [人]	2	0	0	5	1	2	0
対処法							
窓を開ける				2			
扇風機を使う	1			3	1	1	
エアコンを使う						1	
特になし	1						

集合住宅

表 3-20～表 3-23 および図 3-13 に、集合住宅 15 軒の温熱環境評価に対する結果を示す。日中の快適性・夜間の快適性と共に、2 階以上の住戸に対しては共用空間での快適性についても質問した。

日中の快適感については、半数が「快適」もしくは「どちらでもない」と答えていた。「不快」と答えた理由としては、半数以上が「風がない」であり、「気温が高い」と答えたのは 2 軒であった。風がない場合に不快と感じる人が多いことが分かる。暑い場合の対処法としては、「ドアを開ける」が最も多く、15 軒中 12 軒であった。積極的に風を得ようとしていることが分かる。また、「扇風機の使用」と答えたのは 5 軒であった。

夜間は、日中よりも「やや不快」と感じている居住者が多い。その理由としては、日中と同じく「風がない」ことをあげる居住者が半数以上である。暑い場合の対処法としては、「ドアの開放」が 12 軒であったが、そのうち何軒かは、共用空間側の扉を開けてテラス側の扉のみを開けると答えていた。このため、日中よりも風通しが悪くなり、室内環境の評価が低下したと考えられる。海に近いため、戸建住宅（タイプ A）や戸建住宅（タイプ B）に比して風によって涼感を得ている割合が高く、「風がない」場合に不快を強く感じていると考えられる。

共用空間は日中の生活場所として活用されているが、温熱環境については 12 人中 9 人までが「快適」と回答している。居室と比べると風速が得られることで、涼感が生まれると考えられる。

戸建住宅（タイプ B）でもそうであるが、「温度が高い」を不快の理由としてあげる人は少ない。温度を下げるすべがない状態では、人体への直接の風によって体感温度を下げるという手段をとらざるを得ないためと考えられる。扇風機を使用するのもそのためであろう。

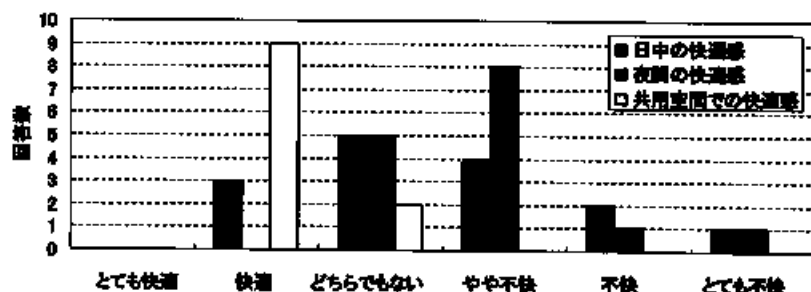


図 3-13 集合住宅の温熱環境評価（計 15 軒）

表 3-20 集合住宅の日中の「快適感」と不快な理由

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数 [人]	0	3	5	4	2	1
理由						
温度が高い			1	1		
風がない			2	3	2	1
特になし		3	2			

表 3-21 集合住宅の日中の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数 [人]	6	0	1	5	2	0	0
対処法							
ドアを開ける	5		1	3	2	1	
扇風機を使う	2			2		1	
共用空間で過ごす				1			

表 3-22 集合住宅の夜間の「快適感」と不快な理由

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数 [人]	0	0	5	8	1	1
理由						
気温が高い			1	3		
風がない			2	5	1	1
無回答			2			

表 3-23 集合住宅の夜間の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数 [人]	11	1	1	2	0	0	0
対処法							
ドアを開ける	8	1	1	2			
扇風機を使う	4						

b) 快適性と温冷感の季節による違い

ここでは、快適性・温冷感の雨期および乾期の違いに注目する。乾期については、年間で最も平均気温の低くなる7月と最も平均気温の高くなる11月に行った（アンケート2）。アンケート調査の内容は表3-8に示したものである。所得別にアンケート結果を分類している。低所得者層は戸建住宅（タイプA）の住宅がほとんどであった。中所得者層の多くは戸建住宅（タイプB）の住宅であったが、戸建住宅（タイプA）と同様の間取りもしくは増築した住宅もある。高所得者層には、戸建住宅（タイプA）および戸建住宅（タイプB）と同様の間取りもしくは増築をした住宅に加え、構造や間取りが全く違う住宅が含まれている。

雨期（2001年2月）の結果を、図3-14、図3-15に示す。2月では、「不快」側の回答の割合は日中よりも夜間に高くなっている。低所得者層では、「不快」側の回答が日中では55%を超えている。夜間ではさらに増え、70%以上の人が「不快」と感じている。温冷感では、日中、夜間共に「暑い」と回答している人が70%を超えていた。中所得者層では、低所得者層に比べると「快適」側の回答をした人が日中では60%、夜間でも40%と多くなっている。夜間に「不快」と答えている人は日中よりも少ない。住宅の種類によって室内の温熱環境が大きく違っていることが分かる。

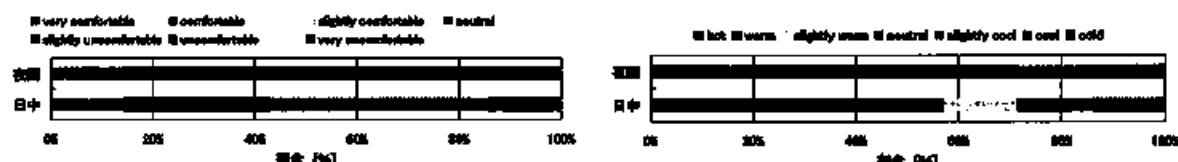


図3-14 2月の住宅の評価（戸建住宅（タイプA）（低所得者層））（左：快適性、右：温冷感）

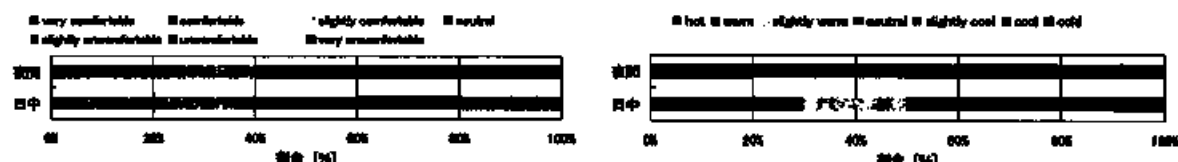


図3-15 2月の住宅の評価（戸建住宅（タイプB）（中所得者層））（左：快適性、右：温冷感）

乾期（2002年7月）の結果を図3-16～図3-18に示す。乾期においては、朝（午前）、日中（午後）、夕方、夜間に分けて回答を得た。7月は一年で最も気温の低い時期なので、2月に比べると一日を通して「快適」側の回答が多い。「不快」側の回答をした割合は日中に最も高く、低所得者層では40%、中所得者層では30%であった。そのほかの時間帯では「不快」側の回答は10%程度と、2月と比較してかなり低い。高所得者でも同じような傾向であった。中所得者層では、低所得者層と同じく日中に「不快」側の回答が多くなっている。しかし、朝・夕方・夜には「快適」側と「どちらでもない」という回答が多かった。この傾向は低所得者層での回答と同じである。2月の結果とは逆に、日中に「不快」側の回答が増え、夜間に減っている。

温冷感では、日中に「暑い」側の回答が多いことは低所得者と同じであるが、朝・夕方・夜の「暑い」側の回答が少なくなっている点で異なっている。一年では最も外気温の低い時期（外気温を比較すると3月よりも午前中から夕方にかけて1℃程度低い）にもかかわらず、2月よりも日中に「暑

い」側の回答が増えている。この理由としては、朝に気温が下がり「涼しい」と感じており、その対比で日中を「暑い」と感じているということが考えられる。一方、夜間の外気温度は2月、7月とも変わらないが湿度が2月の方が15%程度高くなる。そのため、2月の方が夜間に「暑い」・「不快」と感じている人が増えると考えられる。

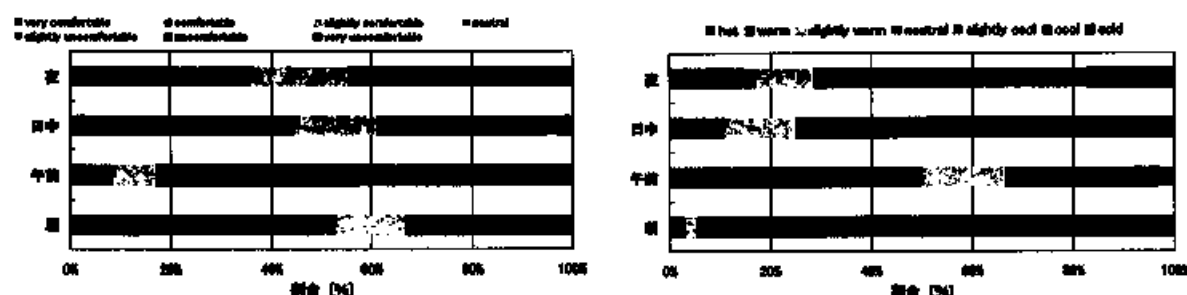


図 3-16 7月の住宅の評価（低所得者層）（左：快適感、右：温冷感）（34人）

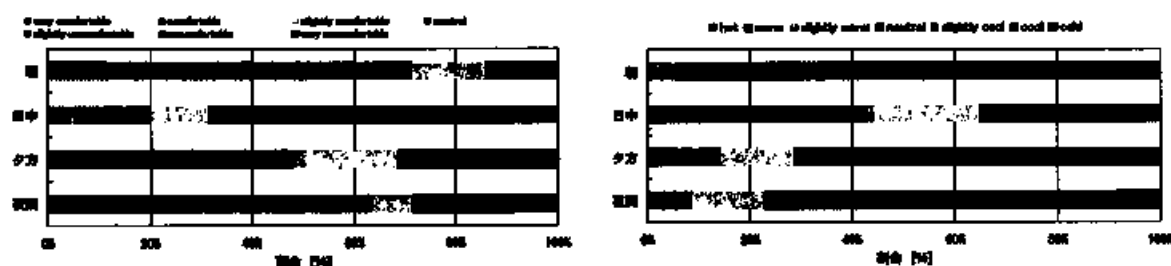


図 3-17 7月の住宅の評価（中所得者層）（左：快適感、右：温冷感）（39人）

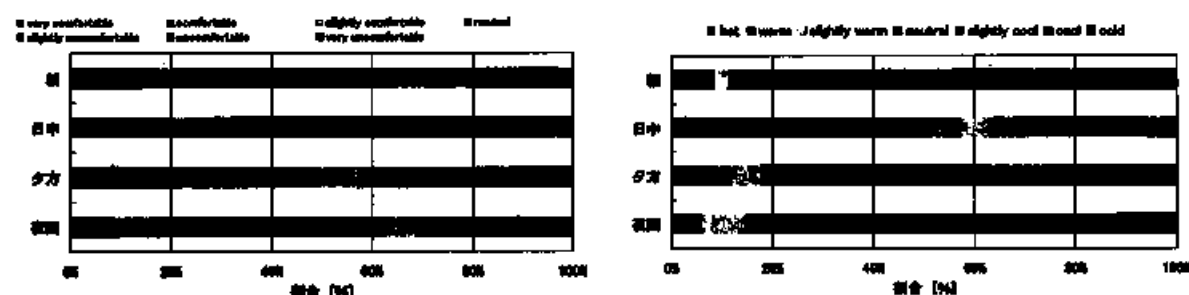


図 3-18 7月の住宅の評価（高所得者層）（左：快適感、右：温冷感）（34人）

次に、一年のうちで最も気温の高い時期である11月の結果を図3-19～図3-21に示す。快適感についてみると、低所得者層で日中はほぼ90%が「不快」側の回答をしており、7月や2月と比較してもその割合は高い。日中の外気の平均・最大値・最低値は7月よりも11月の方が1℃程度高いにすぎないが、年間の気温変動が小さいだけにその1℃の差で快適感・温冷感に差がでるのだと考えられる。また、午後や夜間にも「不快」と感じる割合は高くなっており、2月と同様に、約40～50%の人が「不快」と感じている。中所得者層では、午後にも「不快」と感じている人が多い。「不快」側の回答割合が、日中は75%、午後や午前中も高く60%以上ある。低所得者層とは違い、夜間は20%弱と低い。高所得者では、日中は「不快」側の回答が60%程度あるが朝方と午後は10%程度と低く、夜間は30%近くになる。

温冷感では、どの所得層でも日中に「暑い」と答えている人が最も多い。しかし夜間は、低所得者層では「暑い」という回答が夕方よりも増えているが、中所得者層では日中の1/4、夕方の半分まで減っている。さらに高所得者では「暑い」という回答がなかった。

以上より、最も気温の高い11月では、日中の温熱環境は住宅によらず「不快」であり「暑い」環境にあると考えられる。夜間は、低所得者層では「暑い」環境であるが、中所得者層や高所得者では低所得者層よりも良い環境が形成されていると考える。

一年を通してみると、11月や7月の乾期には、日中に不快を感じている人が多く、それに対して夜間を「不快」と感じる割合は日中の半分以下になる。雨期には、日中よりも夜間の方が「不快」と感じている人が増えている。以上より、乾期には特に日中に快適性を向上させる必要があり、最も気温の高い11月には日中と夜間の両方の快適性を改善する必要がある。一方、雨期には夜間の快適性向上が必要といえる。

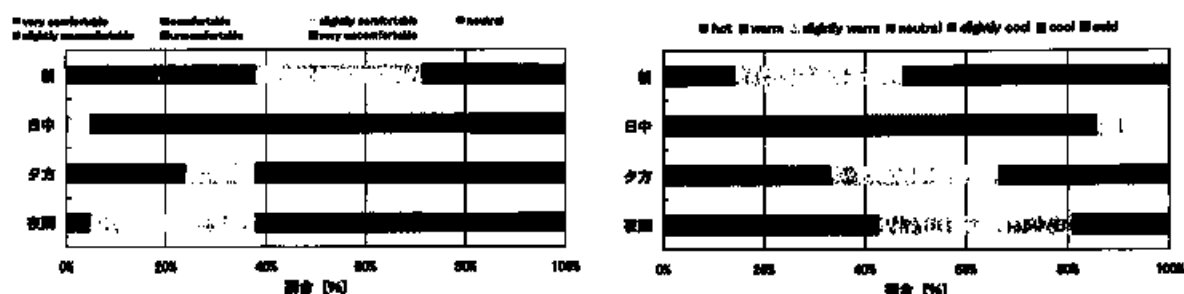


図 3-19 11月の住宅の評価（低所得者層）（左：快適感、右：温冷感）（24人）

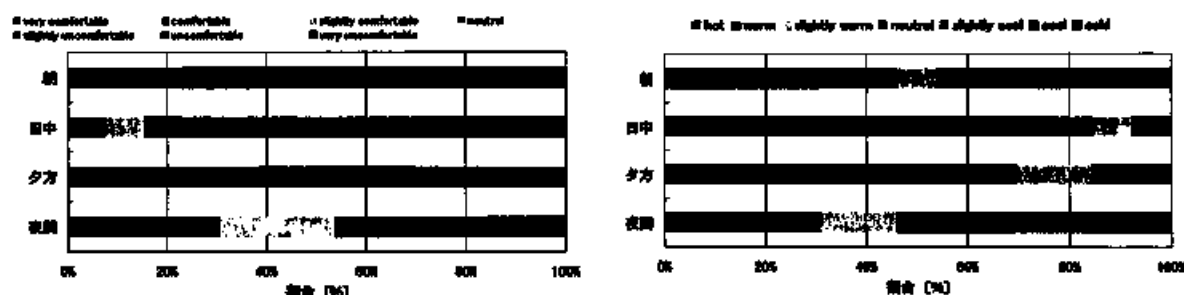


図 3-20 11月の住宅の評価（中所得者層）（左：快適感、右：温冷感）（14人）

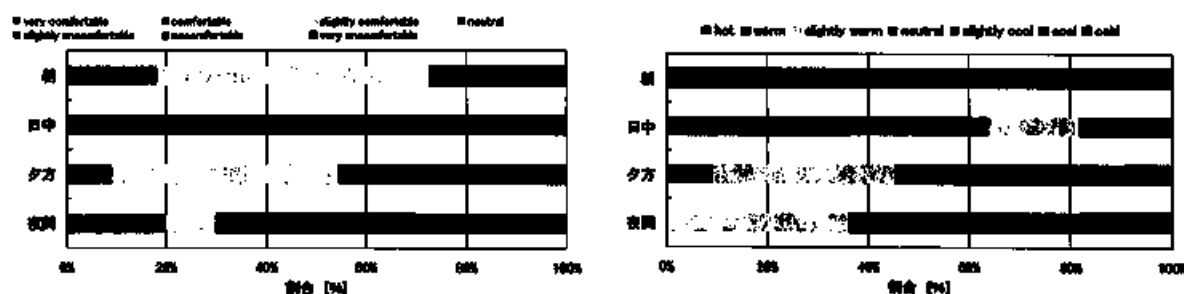


図 3-21 11月の住宅の評価（高所得者層）（左：快適感、右：温冷感）（14人）

c) 不快な理由と、暑いと感じたときの対処法

図3-22、図3-23に、不快な理由と暑いと感じたときの対処法を示す。7月は不快と感じる人が少ない。日中に不快と感じる割合が高く、その理由としては「温度が高い」と答えた人が多かった。次いで「風がないこと」「日射があること」があげられている。11月は、7月同様に「温度が高いこと」が不快な理由として多くあげられている。「風がないこと」が2番目の原因としてあげられる。夜間は、7月、11月ともに「温度が高いこと」よりも「風がないこと」を不快の原因としてあげている人が多く、外部風の低下と扉・窓を閉じてしまうことによる通風量の減少によって、室内で得られる風速が減ることがその原因と考えられる。

暑い場合の対処法としては、終日を通して最も多いのが「扇風機を使う」である。次いで、午前中から夕方は窓・扉を開けるが多い。日中は開口部を開けることによって風を得る、風が得られない場合は扇風機を使用するというのが一般的といえよう。ブラインドを用いて日中の日射を遮蔽するという人は少なかったが、これは、もともと直射日射が入りにくいように工夫がなされているからと考える。エアコンを使用する人は全体の20%程度であるが、エアコンが設置されている住宅に居住している人は全体の26%であることを考慮すると、暑い場合にエアコンを使用する人の割合は高いと言えよう。

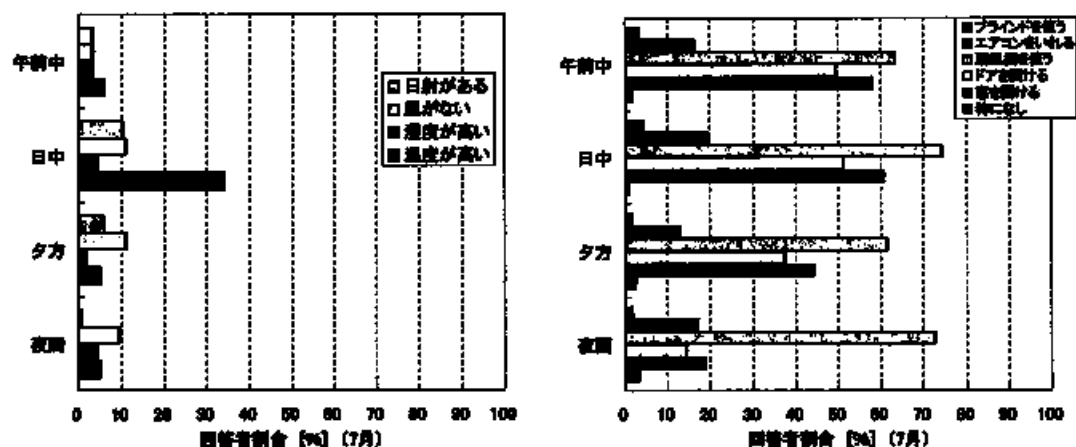


図3-22 7月の不快な理由(左) 暑いときの対処法(右)

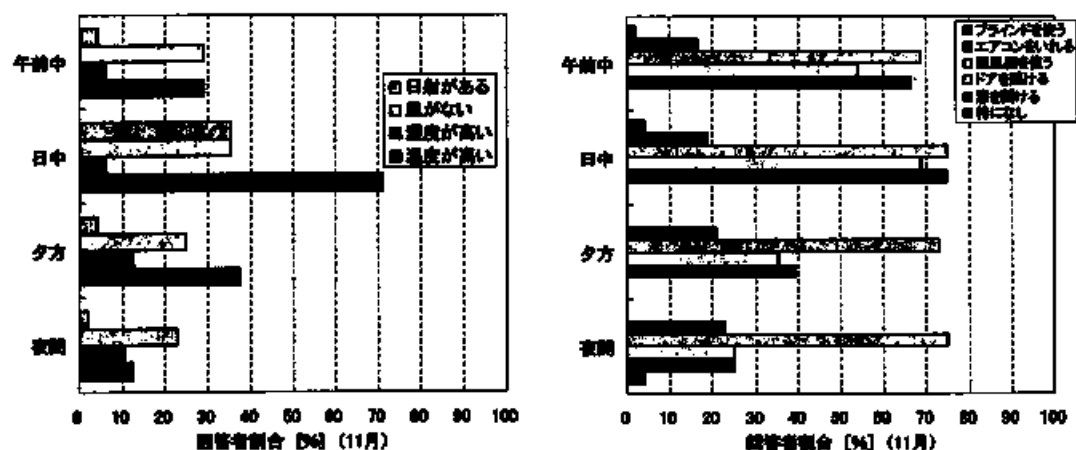


図3-23 11月の不快な理由(左) 暑いときの対処法(右)

(4) 住宅の温熱環境測定結果

a) 雨期の温湿度環境（エアコンの無い住宅の温熱環境）

戸建住宅（タイプA）

図 3-24 および図 3-25 に戸建住宅（タイプ A）の住宅の居間の温湿度を示す。図 3-24 は全住宅 6 軒の時刻別の平均であり、図 3-25 は全住宅の値を示している。

2 月 19 日の外気温度は、14:00 前に 33.5℃まで上昇している（図 3-24）。一方、6 軒の平均室温は 14:00 の時点で 34.4℃まで上昇しており、外気温度よりも 1.1℃高くなっている。また、最も高温になった住宅では、36℃まで上昇していた（図 3-25）。

図 3-26 に各住宅の、終日、日中、夜間の平均温度と平均相対湿度の関係を示す。測定期間中（2001 年 2 月 19～26 日の 7 日間）の平均である。全日の平均気温は、外気温度が 28℃に対して全住宅の平均温度は 30.6℃である。すべての住宅で、外気温度よりも平均室温が高くなっている。日中では外気温度が 29.4℃に対して、室温は 31.4℃と 2℃の差があり、夜間は 26.7℃に対して 29.6℃と 3℃近く高い。相対湿度は、住宅の温度が高くなるほど低くなる傾向にある。日中の絶対湿度は、1 軒を除き外気よりも低くなっており、夜間の絶対湿度は全ての住宅で外気よりも低くなっている。夜間は吸放湿性のある壁や天井などに吸湿されるため、室内の絶対湿度は外気よりも低くなっていると考えられる。

全住宅とも、日中の室温はインドネシア人の快適温度（24.4～28.9℃）⁹⁾ をかなり上回っており、劣悪な温熱環境といえる。日没後はやや室温が下がるが、最も低い場合でも 27℃程度である。夜間に室温と外気温度との差が大きいことから、夜間換気により室温を低下させることが有効であると考えられる。

室温が上昇する原因と考えられるのが、屋根からの日射熱と換気不足である。戸建住宅（タイプ A）では、屋根はアスベスト、天井は合板でできており、屋根の断熱が不十分である。最も劣悪な環境の家（図 3-24 住宅①）では、天井が張られておらず、室温は 36℃まで上昇していた。また、キッチンを増築することで建物が閉鎖的となり、十分な換気が得られないということも一因と考えられる。これに関しては、第 5 章で解析との対応により明らかにする。

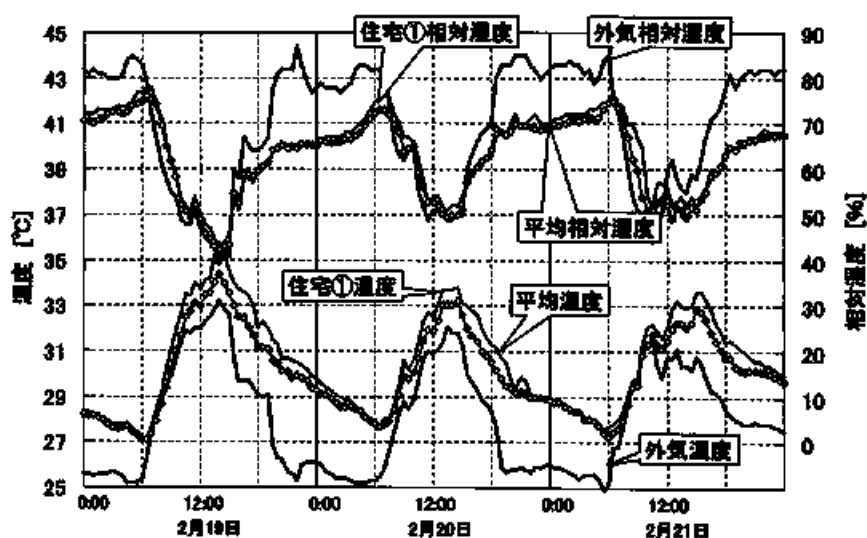


図 3-24 居間の温湿度：戸建住宅（タイプ A）（6 軒の平均値）

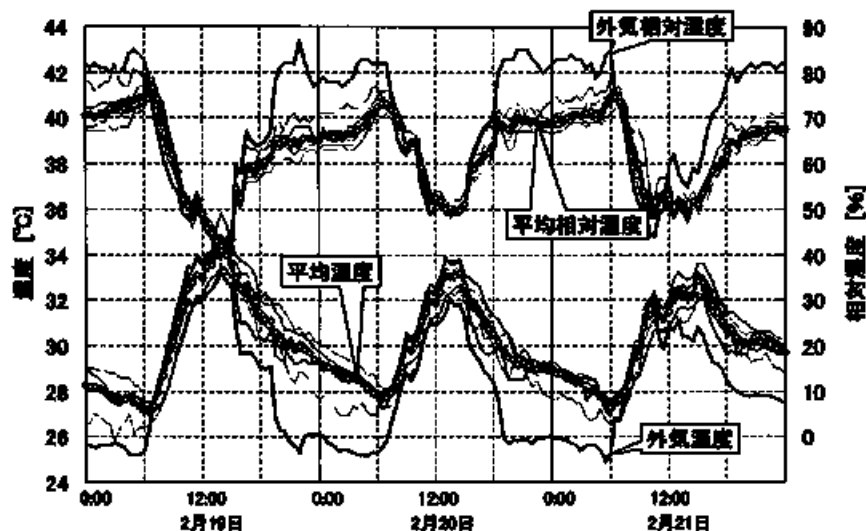


図 3-25 居間の温湿度：戸建住宅（タイプ A）（全住宅）

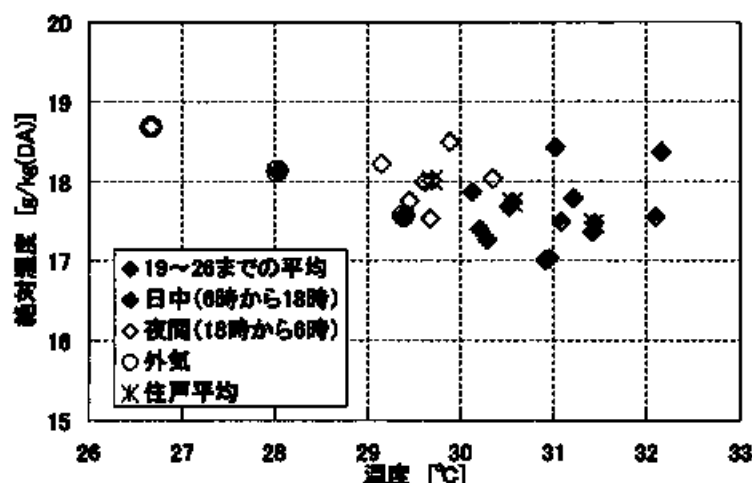


図 3-26 各住宅と外気平均の温湿度（2月19～26日の全日、日中、夜間の平均）

戸建住宅（タイプ B）

図 3-27 に戸建住宅（タイプ B）の居間と寝室の平均温湿度を示す。これは、測定した住宅 10 軒のうち、エアコンを所有していない 5 軒の住宅の平均である。居間と寝室の平均温湿度にはあまり違いが見られないが、日中は寝室の方が 0.3°C 程度低くなっている。測定期間中の平均室温は、どちらも 29.5°C であった。夜間の居間温度は外気温度よりも 2°C 程度高く、 29°C から 28°C 前後へとゆっくりと低下する。戸建住宅（タイプ A）と比較すると、日中の室温は最大（2月19日午後2時）で 3.2°C 低く、平均でも 1°C 程度低い。

図 3-28 に居間の温湿度を、図 3-29 に寝室の温湿度を示す。それぞれ、測定した全住宅の温湿度を平均したものである。

居間と寝室の住宅 5 軒での温湿度の違いを比較する。居間では寝室よりも住宅間の差が小さい。日

中の最高室温は、居間では温度の高い住宅と低い住宅の差が約1℃程度であるのに対して、寝室では3℃程度の差がみられる。夜間の住宅間の温度差は、居間では1℃未満、寝室では1.5℃程度になっている。

図 3-31 と図 3-32 に、各住宅での日中と夜間の平均温度を示す。住宅間で建物構造に差があまり無いために、戸建住宅（タイプ A）と比較すると平均的な湿度の住宅間の差は小さい。

測定住宅のうち矢印で示す住宅のみ、日中の室温が外気温度より低くなっている（図 3-32（右））。この住宅の居住者からは、「日中に人がいないため常に開口部を閉じている」という回答を得た。この住宅では、日中に開口部を閉じることによって外気の流入と日射の射入が妨げられたため、室温が外気温度よりも低く保たれていたと考えられる。つまり、日中の室温が低く保たれるか否かは、開口部を開けるか否かおよび窓からの日射射入が大きく関わっていると考えられる。夜間は、どの住宅も開口部を閉じており、さらに日射の影響もないことから室温はほぼ同じ程度であった。

絶対湿度は、戸建住宅（タイプ B）では戸建住宅（タイプ A）よりも住宅間の差が大きい。居間と寝室での絶対湿度のばらつき方はほとんど差異がない。

全住宅の一日を通しての平均温度は 29.6℃であり、外気よりも 1.5℃程度高くなっている。日中はそれぞれ 30.0℃と 29.4℃であり、室温は外気温度よりも 0.6℃高い程度である。戸建住宅（タイプ A）よりも平均温度は低くなっているが、屋根からの日射の影響が小さいことがその理由と考えられる。夜間の平均温度は 29.2℃であり、全ての住宅で外気温度（26.7℃）よりも 2～3℃程度高くなっている。戸建住宅（タイプ A）同様に、夜間換気によって室内温度を下げるができるであろう。

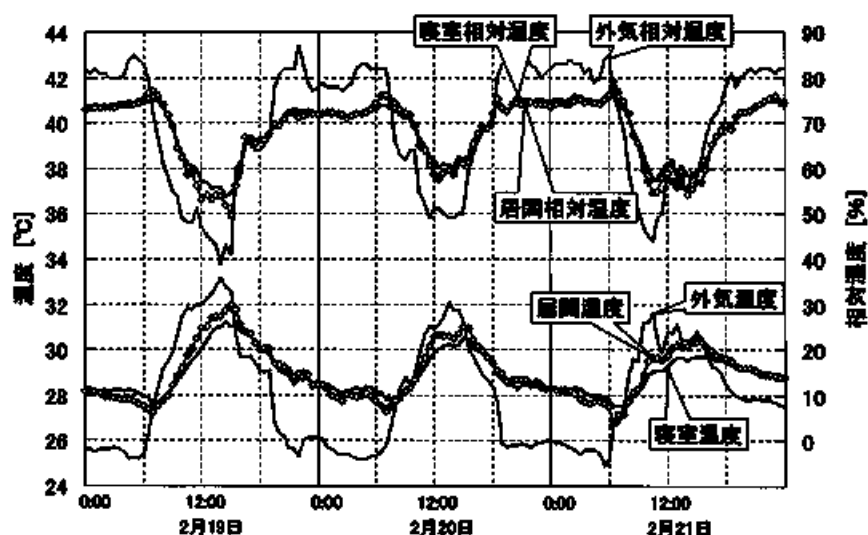


図 3-27 居間・寝室の温湿度：戸建住宅（タイプ B）（5 軒の平均値）

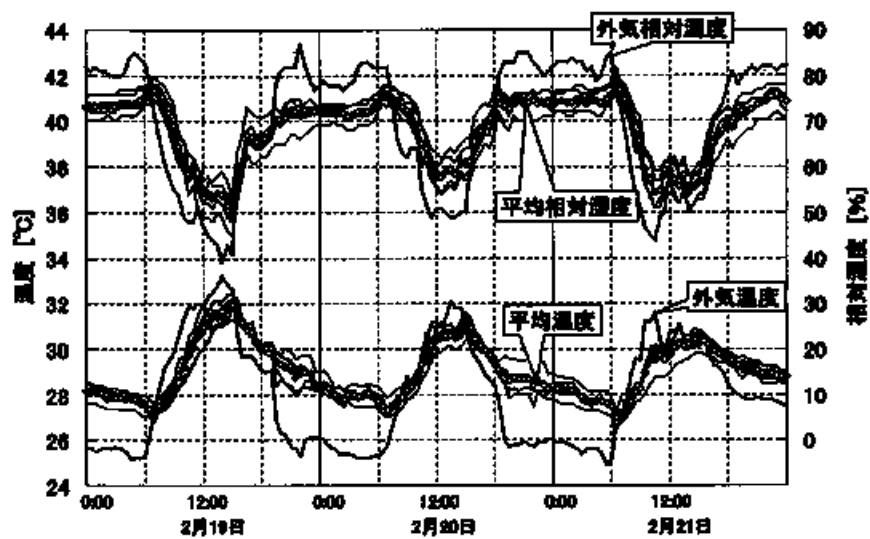


図 3-28 居間の温湿度：戸建住宅（タイプB）（全住宅）

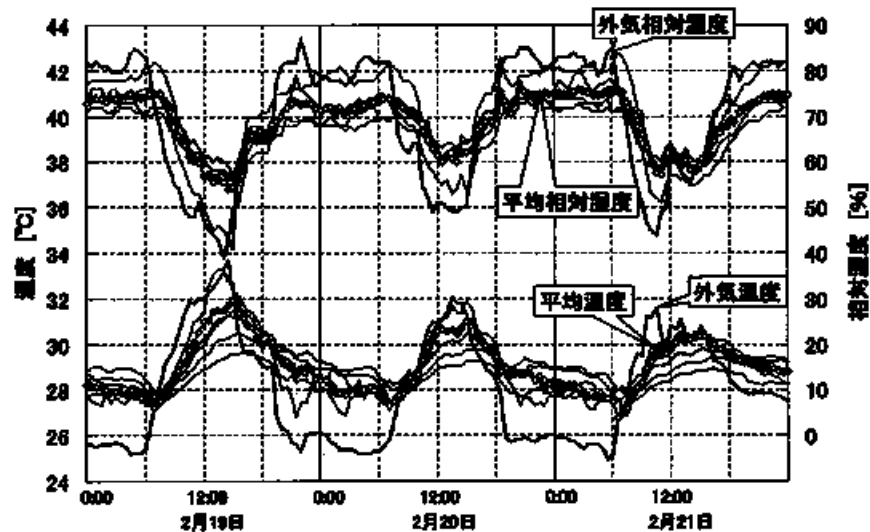


図 3-29 寝室の温湿度：戸建住宅（タイプB）（全住宅）

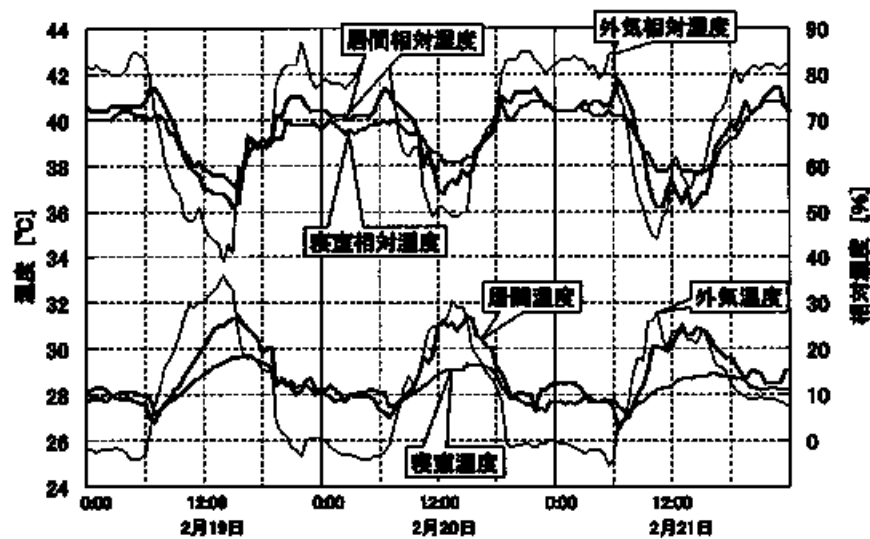


図 3-30 代表的な1軒の住宅

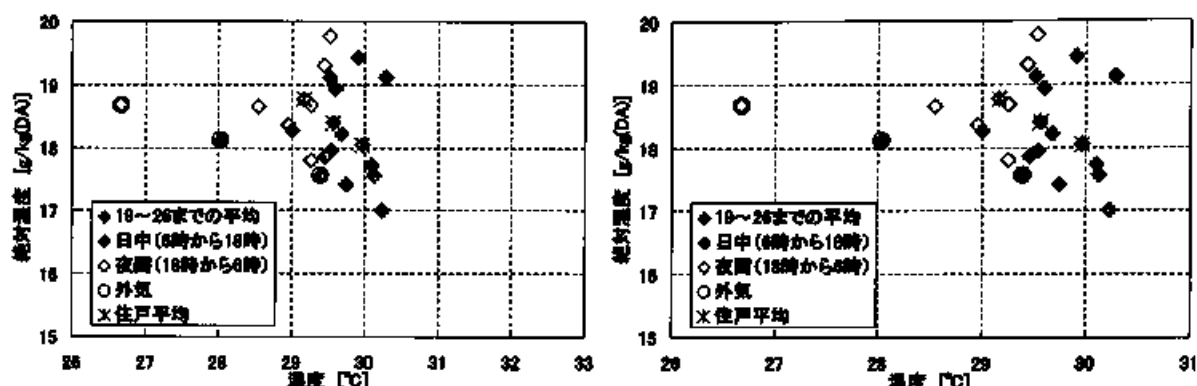


図 3-31 各住宅と外気のパラメータ (2月19～26日の全日、日中、夜間の平均) 戸建住宅 (タイプB: 居間)
(左: 温度のスケールを図 3-26 にあわせている、右: スケールを変更)

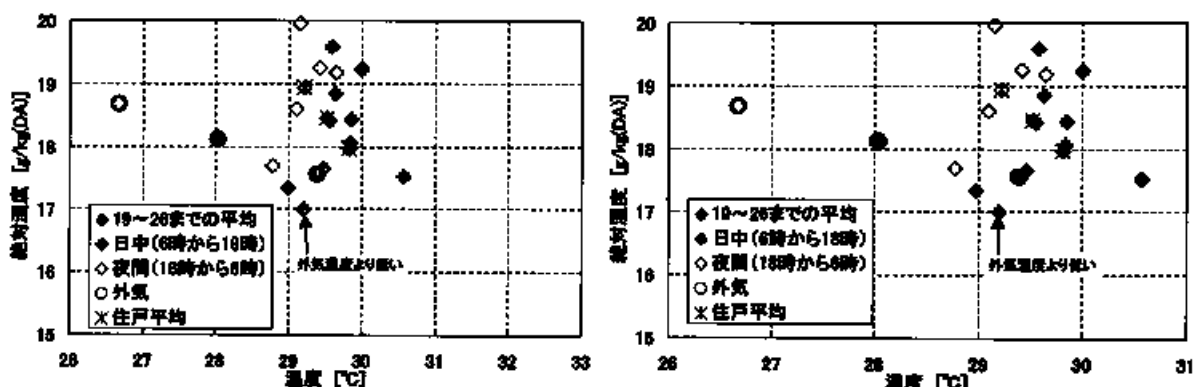


図 3-32 各住宅と外気のパラメータ (2月19～26日の全日、日中、夜間の平均) 戸建住宅 (タイプB: 寝室)
(左: 温度のスケールを図 3-26 にあわせている、右: スケールを変更)

低所得者用の集合住宅

図 3-33 に低所得者用の集合住宅における 11 軒の平均温度を示す。また、図 3-34 には各階の温度の平均を、図 3-35 には各階の平均温度と全住戸の温度変化を示す。

集合住宅の全住戸の平均温度をみると (図 3-33)、測定期間中の最高室温は 19 日午後 2 時の 32℃であった。日中の室温は戸建住宅 (タイプ B) とほとんど変わらず、戸建住宅 (タイプ A) よりも良好な環境が形成されている。深い軒や小窓を布で被うなどして日射が室内に射入しないように工夫しており、室温上昇に対する日射の影響は小さいと考えられる。また、海に近いため外部風が強く、共用空間側とテラス側にある 2 カ所の扉を開ければ風通しが十分確保される。外部との換気量が多いため、19 日の 16:00 (図 3-33 ↑ で示す) のように外気温度が急激に下がった場合の室温低下は、戸建住宅 (タイプ B) よりも大きい。夜間は日中に比べて外部風が弱くなるために、換気量が減る。その結果、室温

は下がらずに 28～29℃の範囲で推移している。夜間には共用空間側の扉を閉じる家もあり、これも夜間換気を妨げる原因となっている。測定期間中の平均気温は 29.6℃で、戸建住宅（タイプ B）とほぼ同じ結果であった。

日中は、各階の温度差が小さい（図 3-34）が、4 階の室温がやや高くなっている。最上階のみ屋根からの日射熱の影響を受けていることが原因と考えられる。夜間は、上階にゆくほど温度が低い。上階の方が、外部風速が強く換気回数は多くなるため、夜間の温度低下が大きくなっていると考えられる。1 階では、共用空間側の扉が常時閉じられているため、通風経路が閉ざされ、夜間に温度が低下しない。

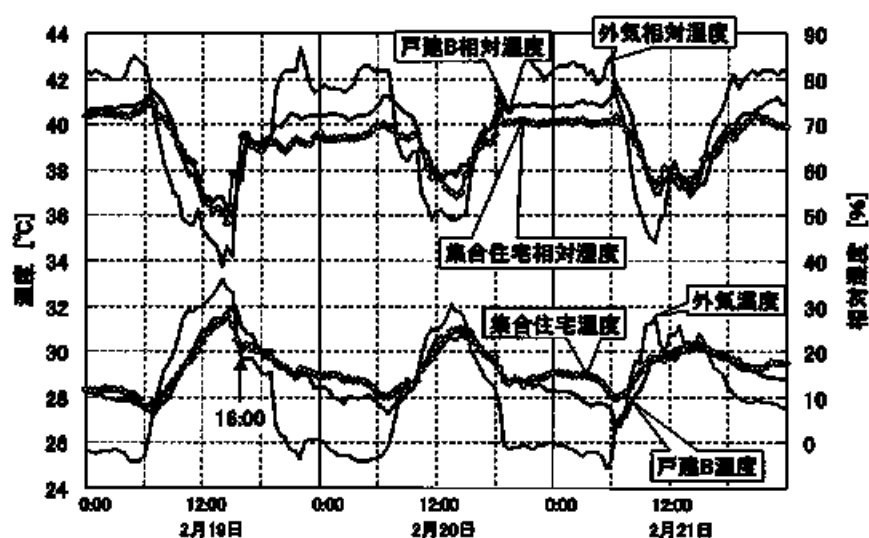


図 3-33 居間の温湿度（集合住宅：11 軒の平均値）

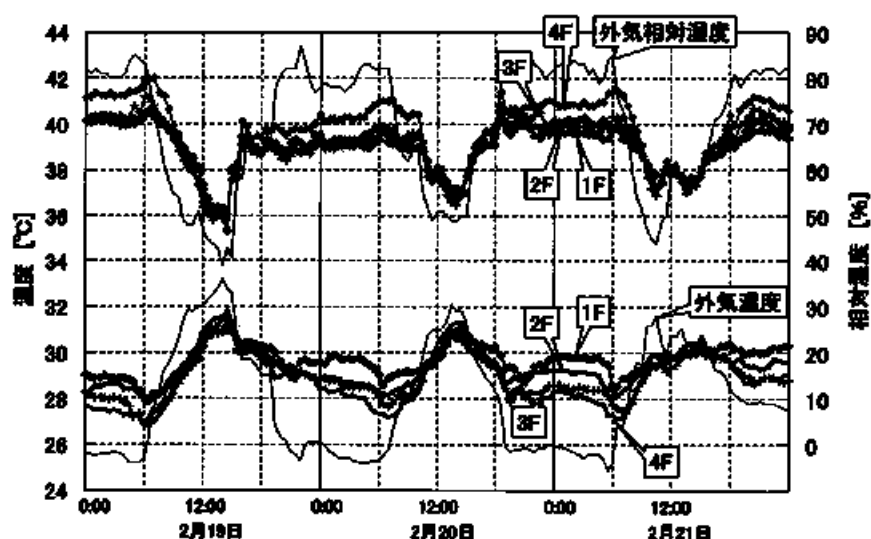


図 3-34 居間の温湿度（集合住宅：各階の平均）

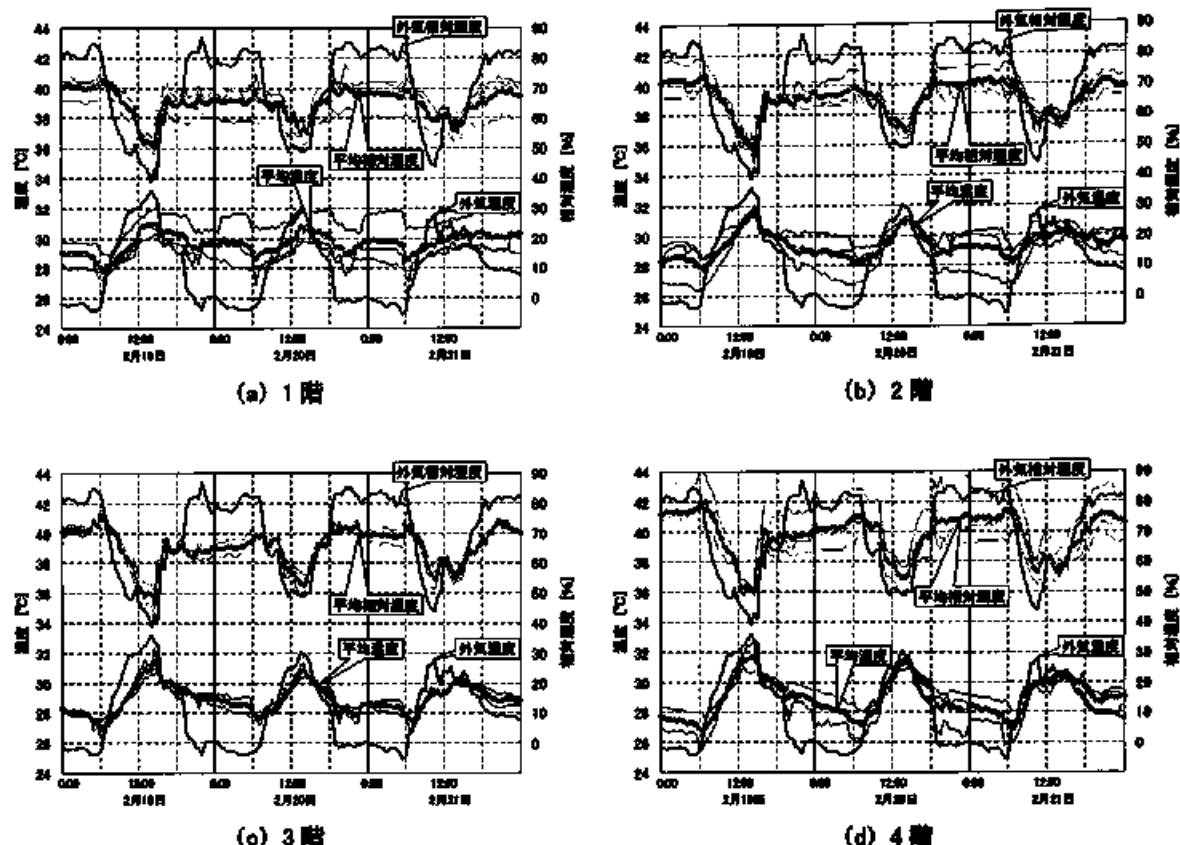


図 3-35 各階の層間の平均温度と全住戸の測定結果

戸建住宅（タイプA）、戸建住宅（タイプB）および集合住宅の温熱環境の比較

図 3-36 に、日中（午前 6:00～18:00）と夜間（18:00～午前 6:00）の各住宅の室温の累積度数分布を示す。インドネシア人が快適と感じる温度（24.4～28.9℃）は主に夜間に現れ、その割合は戸建住宅（タイプB）では 46%を占めている。戸建住宅（タイプA）や集合住宅では 30%程度である。集合住宅の方が戸建住宅（タイプB）より夜間の環境は悪いと言える。

一方、日中の分布を見ると、28.9℃以下の温度の割合はそれ程変わらないが、温度が高い側の割合は集合住宅の方が戸建住宅（タイプB）よりも少ない。最高室温でも、集合住宅が 31.6℃、戸建住宅（タイプB）が 32℃となっている。日中の温熱環境は集合住宅の方が良好であることが分かる。

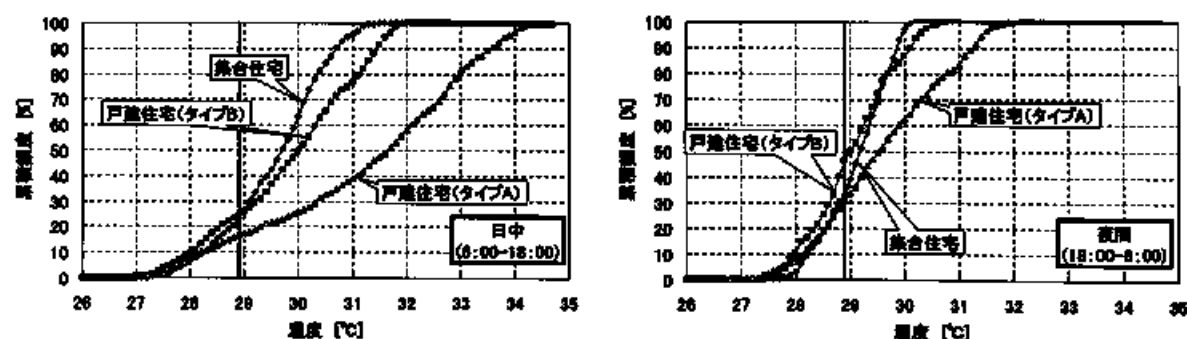


図 3-36 各住宅の室温の累積度数分布（左：日中（午前 6:00～18:00）、右：夜間（18:00～午前 6:00））

b) 乾期と雨期の比較（戸建住宅（タイプB））

2001年2月（雨期）と2002年7月（乾期）の温湿度を比較する。図3-37（左）に居間の温湿度の測定結果を、図3-37（右）には寝室（北側）の結果を示す。居間と寝室の室温は、午前7:00前後から午後16:00頃まで2月の方が7月よりも高い。夜間は、2月と7月の差がほとんど無いが2月の方がやや低い。2月は日中に気温が高くなるが、夕方にスコールがあり気温が一気に下がるために、夜間の室温が7月よりも低くなっている。相対湿度は、居間・寝室ともに2月の方が10～15%程度高い値となっている。室温の年間変動は、外気の変動とよく似ている（図3-10）。一日の室温が最も高くなる時間帯を見ると、居間では2月が14:00頃、7月が16:00頃である。寝室は、2月が14:00頃、7月18:00頃となっており、2月に比べて7月の方が寝室室温の最高となる時間帯が遅い。居間での最高室温は外気の最高気温となる時間（14:00（図3-10））と同じである。寝室の最高室温が居間よりも遅れて現れる原因としては、寝室の方が居間よりも窓の面積が小さく、換気量が少なく、日射の影響を受けにくいことが考えられる。さらに、2月よりも7月の方が最高室温となる時間が遅くなっているのは、外壁が日射を受けているか否かに関係している。2月は、北側壁面には直達日射が当たらないので夕方以降に室温は上がらない。一方、7月は北側壁面に日中に日射が当たるために、北壁に蓄熱があり、夕方以降にその影響が現れてくると考えられる。つまり、壁面に当たる日射を減らすことも重要であることが分かる。

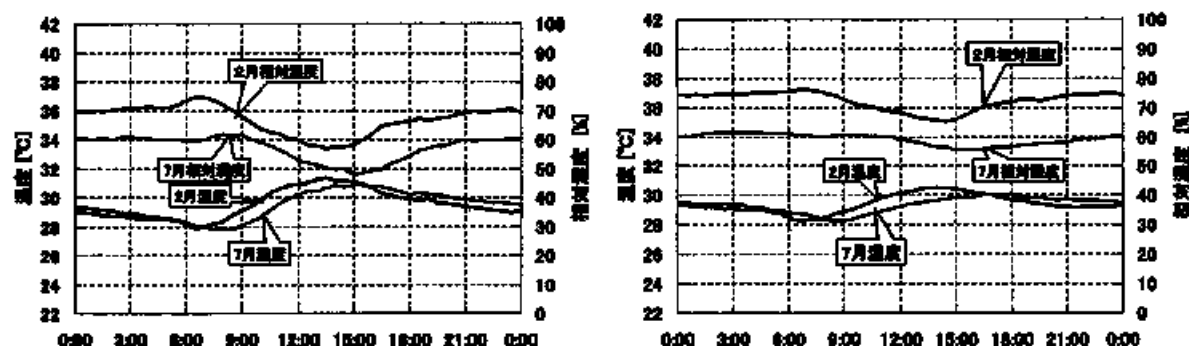


図3-37 居間と寝室の温湿度（2月と7月の比較）（左：居間、右：寝室）

c) 室内風環境

室内で得られる気流について検討するため、風速および風向の測定を行った。測定を行った戸建住宅（タイプB）の北側は街路に面しており、南側には同様の住宅がある。キッチン北側の開口以外の全ての開口部が開けられた状態で、外部風速と室内風速を同時に測定した。室内はFL+1.2mで、屋外はGL+2.0～2.5mの点で測定した。風向を図3-38に、外部および室内風速と外部風速に対する室内風速の割合を図3-39、図3-40に示す。測定点は図3-38に示す。測定は2003年2月10日7:00（午前）と2月16日15:00（午後）に行った。平均外部風速はそれぞれ0.67m/s、1.21m/sであり、日中は朝の倍程度の風速となっている。外部風は、両時間帯とも西から東に流れていた。

図3-38（左）と図3-39に示す2月10日午前7:00の結果を見ると、一部、寝室（北）の入り口（⑧）と寝室（南）の入り口（⑨）、キッチン北側（⑫）と中央（⑬）では室内の風は南向きに流れているが、主な流れは南から北である。外部風速は平均すると0.67m/sであり、室内で得られる風速は扉前で大

きく窓際では小さい。また、北側で高く南側で小さい結果となっている。外部風速に対する室内風速の割合を見ると、居間の中央では0.4程度、寝室やキッチンでは0.2程度であった。午前中には0.6m/s程度の外部風速が得られているので、居間では0.25m/s程度、寝室では0.12m/s程度の風速が得られると期待できる。

図3-38(右)と図3-40に、2月16日15:00の風向と風速の測定結果を示す。外部の平均風速は1.21m/sであった。室内での風向は、キッチン北側(⑫)と南側(⑭)、寝室(北)の入り口(⑧)、寝室(南)の入り口(⑨)および中央(⑩)での風向が異なっているが、ほぼ10日7:00(午前)の結果と同様である。外部風速に対する室内風速の割合は、午前中よりも小さくなっており、居間南側の中央(③)と居間中央(⑤)では0.2程度、居間北側の中央(②)では0.3程度が得られている。寝室中央でも午前中よりも小さく0.1以下である。外部風が午前中の倍程度となっているので、結果的に室内で得られる風速は室内で得られる風速は午前中とほぼ変わらないかやや大きい程度となっている。外部風速は平均すると1.2m/sであり、この場合居間では0.24~0.36m/s程度、寝室では0.1m/s程度の風速が期待できる。

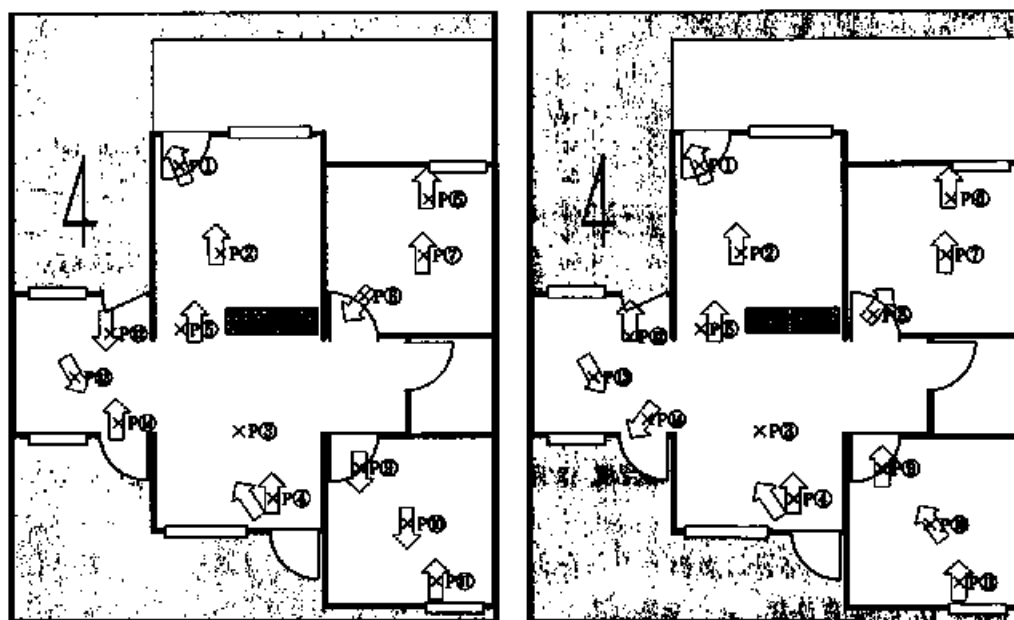


図3-38 戸建住宅(タイプB)での室内の風向(左:2月10日午前7:00、右:16日15:00)

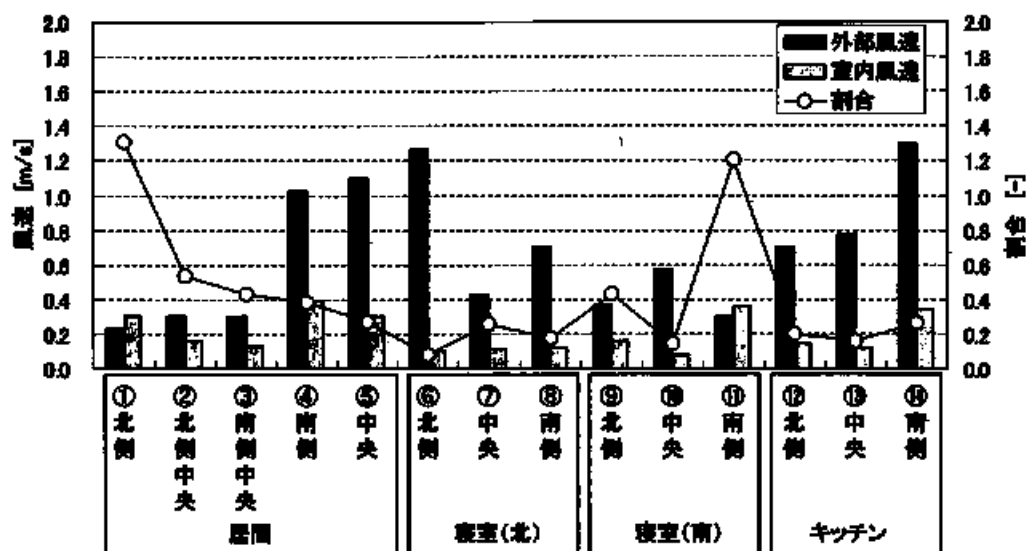


図 3-39 外部・室内風速と外部風速に対する室内風速の割合 (2月10日 7:00 (午前))

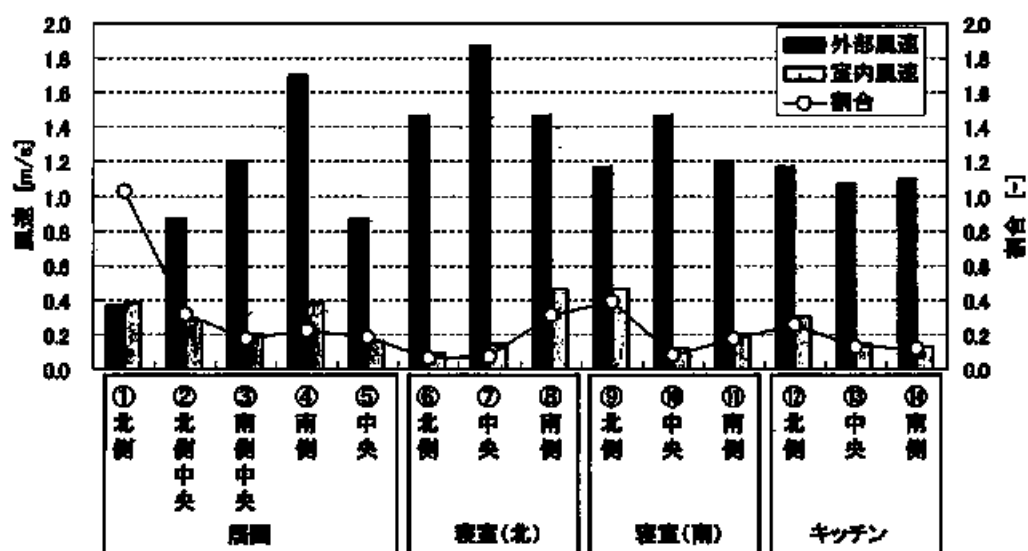


図 3-40 外部・室内風速と外部風速に対する室内風速の割合 (2月16日 15:00 (午後))

(5) 年間のエネルギー消費量

a) 所得による電気使用料の違い

戸建住宅での電気使用量について検討する。1ヶ月あたりの電気使用量の値は以下のように求めた。

- ① 電気料の支払い明細書などから複数月の月電気使用量が得られた住宅ではその値を平均して求める。
- ② ①が得られなかった場合で、居住者が毎月のおおよその電気使用量について把握している場合には、その値を採用する。
- ③ ①も②も得られない場合で、毎月の電気料金のおおよその値を把握している場合には、次の計算式から電気使用量を求めている。

2002年12月の時点では、1kWhあたりの電気料金は約400Rp.である。基本料金と6%のTaxを考慮して、以下の式より電気使用量を得られなかった住戸の電気使用量を計算する。

$$\text{電気使用量} = ((\text{電気料金}/1.06(\text{Tax})) - \text{基本料金}(35,000\text{Rp.})) / 400\text{Rp.}$$

- ④ ①、②、③のいずれも得られていない住宅は除外している。

図3-41と図3-42に電気使用量と床面積の関係を示す。低所得者層では、住宅の床面積は50～150㎡であり、1ヶ月の電気使用量は40～300kWhであった。同じ床面積でも使用量は住宅によって大きく違っている。電気使用料金は約35,000～200,000Rp.であり、低所得者層の月収(1,000,000～1,500,000Rp.)の10～15%程度となる。中所得者層の住宅の床面積は50～350㎡であり、電気使用量は80～620kWhであった。最も電気使用量の大きい住宅は、エアコンを6台使用していた。高所得者層の住宅の床面積は80～400㎡で、ほとんどの住戸にエアコンが設置されていた。中でも電気使用量が700kWhを超える住宅はエアコンの設置台数が3台以上であり、エアコンの使用台数が多いことが電気の高消費につながっていると言えよう。

中所得者層のある住宅では、エアコンを導入する前は1ヶ月の電気使用料金が100,000Rp. (電気使用量では約140kWh程度)だったが、エアコンを使い始めてから150,000Rp.になったと回答していた。この住宅ではエアコン(1台)に対して50,000Rp. (約700円)程度の電気使用料金がかかっており、これは月収を2,000,000Rp. とするとその2.5%程度となる。

図3-43にエアコンの使用台数と電気使用量の関係を示す。エアコンを1台使用している住宅では電気使用料は100～700kWhとばらつきが大きい。エアコンを3台以上使用している住宅は、高所得者がほとんどであり床面積も大きいため、電気使用料は700kWh以上となっている。住宅の面積が大きくエアコンの使用面積が増えることが電気使用量の大きい一つの原因と考えられる。

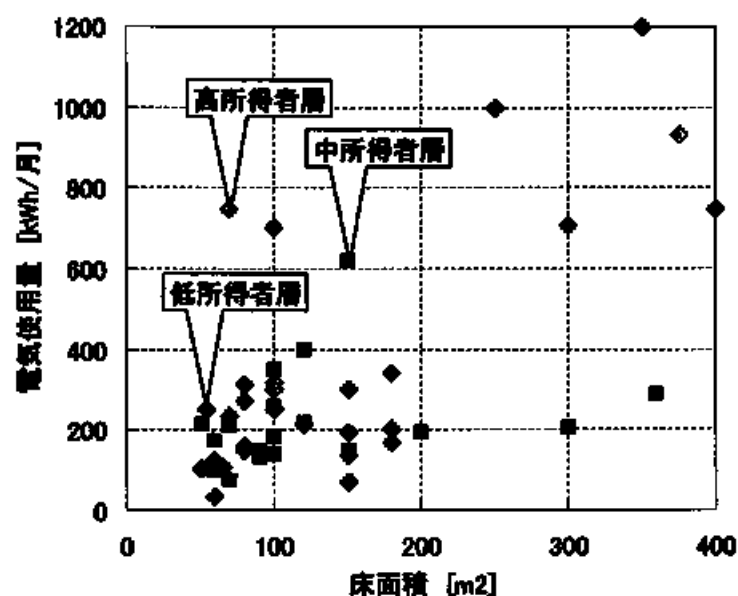


図 3-41 電気使用量と床面積の関係（全住宅）

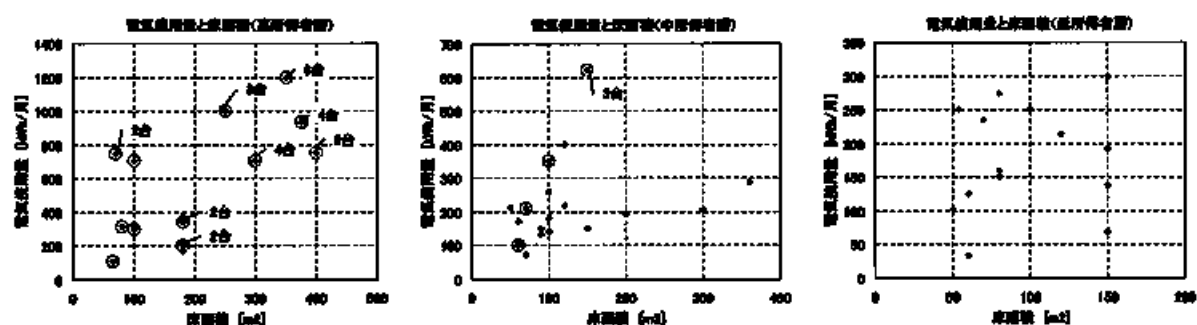


図 3-42 電力使用量と床面積の関係（左：低所得者層、中：中所得者層、右：高所得者層）
（印はエアコンあり、エアコン代数のないところは1台）

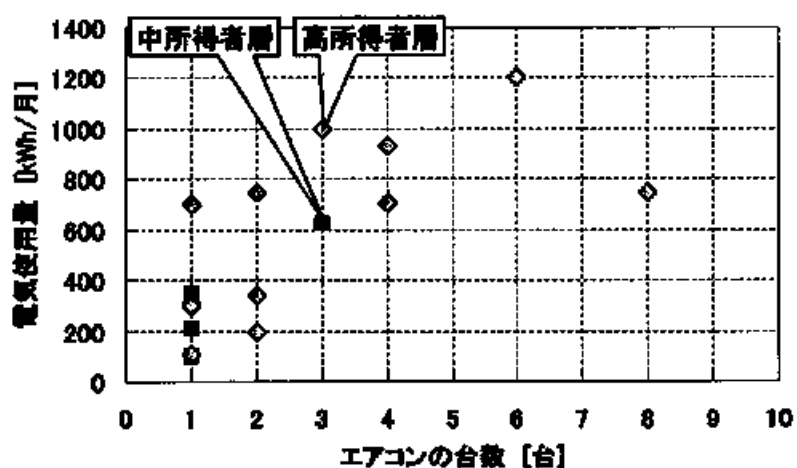


図 3-43 エアコンの使用台数と電力使用量

b) エアコンの所有による電気使用料の違い

図 3-44 に戸建住宅（タイプ B）での電気使用料金の一年間の変化を示す。図中で AC なし①と AC ありの住宅は中所得者層に分類され、AC なし②は高所得者に分類される。エアコンを所有している住宅（AC あり）では 2 台のエアコンが寝室に設置されていたが、そのうち 1 台は壊れて使用されていなかった。エアコンを使用していない住宅の電気使用量は、月による違いはあるものの 1 ヶ月あたり 150 ～200kWh である。一方、エアコンを使用している住宅の月間の電気使用量は 350kWh であり、使用していない住宅の 1.5 ～2 倍程度となっている。これから判断して、今後のエアコンの普及に伴い、電気使用量が大幅に増加することが予想される。

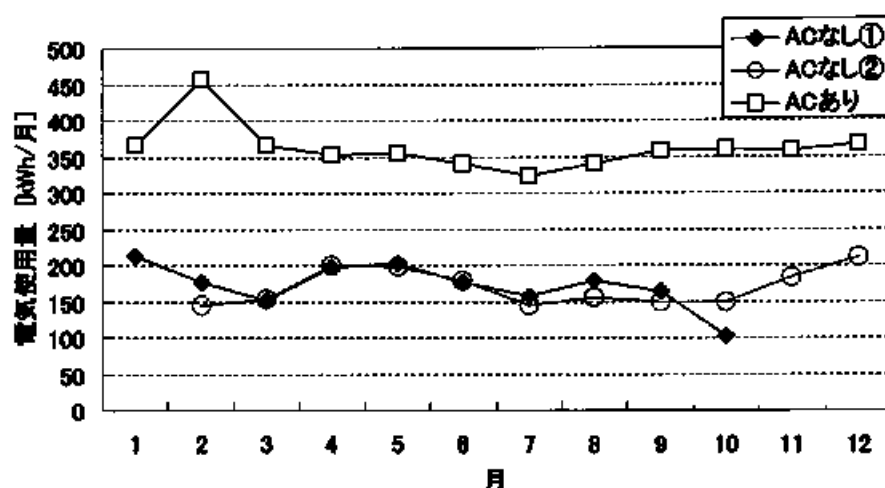


図 3-44 月間電気使用料の年変化（戸建住宅（タイプ B）：中所得者層、エアコンなし）

3.3 冷房の普及状況と冷房使用時の温熱環境についての調査

(1) 学生を対象としたエアコンの使用に関するアンケートの結果

図 3-45 にエアコンに対するアンケートの結果を示す。本アンケートは 2002 年 11 月 15 日に、スラバヤ工科大学の建築学科 4 回生 68 名に対して行われた。エアコンが必要であるかどうかについて、複数回答可としてアンケートを採ったところ、「エアコンは冷房においては効果的である」という意見が最も多く、逆に「使用時のコストが高いこと」や「環境への悪影響」など使用に否定的意見も上位を占めている。「絶対必要だ」と言う意見は 1 割程度であり、「高価な物」、「電気代の無駄」、「エネルギーの無駄」であると考えている人が 20～35% いる。コストや環境への影響を懸念しつつも、“冷やす”ための手段としてエアコンを使わざるを得ないという現実が伺える。「健康に悪い」と考えている人は少なく、冷房による健康被害への意識は比較的低い。日本ではかなり以前から冷房病などが問題となっているが、インドネシアではエアコンが使用されるようになってからまだ時間が浅いことから、エアコンを使用することによる健康被害は顕在化しておらず、それに対する意識も低いと考えられる。

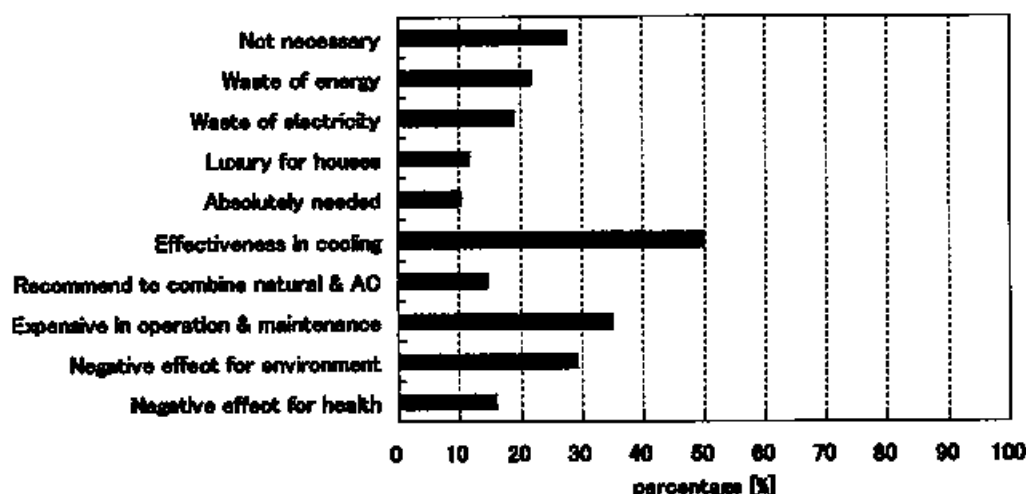


図 3-45 スラバヤ工科大学の学生への調査結果

(2) 戸建住宅を対象としたエアコンの使用に関するアンケート調査

a) 温湿度測定の対象住宅

調査対象は、前節で述べた温熱環境調査（アンケート 2）を行った住宅である。2001 年 2 月の温湿度測定の対象住宅では、戸建住宅（タイプ B）10 軒のうち 4 軒がエアコンを使用していた。2002 年 7 月の調査では、対象とした戸建住宅（タイプ B）5 軒のうちエアコンを使用している住宅は 4 軒であり、1 軒は 2001 年 2 月の時点では冷房を使用していなかった住宅である。詳細を表 3-24 に示す。

表 3-24 室温測定を行った住宅の詳細 (2001 年 2 月および 2002 年 7 月)

	室温を測定した部屋 (下線はエアコンのある部屋)		2001 年 2 月以降の 変更	床面積 [㎡]	家族数 [人]	アンケート調査の 有無
	2001 年 2 月	2002 年 7 月				
House A	居間、 <u>寝室 1</u>	居間、 <u>寝室 1</u> 、 <u>寝室 2</u>	居間の AC は故障	70	4	○
House B	居間、 <u>寝室 1</u>	居間、 <u>寝室 1</u> 、 <u>寝室 2</u>	隣家を買取り増築	60→100	4	○
House C	居間、 <u>寝室 1</u>	居間、 <u>寝室 1</u> 、 <u>寝室 2</u>	寝室 2 に AC を設置	90		○
House D	居間、 <u>寝室 1</u>	—	移転	—	4	—
House E	居間、 <u>寝室 1</u>	居間、 <u>寝室 1</u> 、 <u>寝室 2</u>	寝室 1 に AC を設置	60	2	○
House F	居間、 <u>寝室 1</u>	居間、 <u>寝室 1</u> 、 <u>寝室 2</u>		75	4	—

b) アンケートと室温測定調査の時期

エアコンの使用に関するアンケート調査は、2002 年 7 月と 2003 年 2 月に行った。2002 年 7 月のアンケート調査①では、戸建住宅の居住者を対象に住宅の温熱環境について調査し、2003 年 2 月のアンケート調査②は、アンケート調査①の回答者のうち冷房を使用している住宅の居住者（主婦）に対して行った。

c) アンケート調査の内容

アンケート調査のうち、エアコンの使用に関する項目を表 3-26 に示す。アンケート 2 およびアンケート 3 の回答者数（回答住宅数）の内訳を表 3-5 および表 3-6 に示したものである。また、表 3-7 にはアンケート 2 での回答者の職業の内訳を示した。

アンケート 2 では、低・中・高所得者層から合計 118 人（56 軒）を選び調査を行った。低所得者層の戸建住宅が 17 軒、中所得者層の戸建住宅が 22 軒、高所得者層の戸建住宅が 16 軒であった。また、アンケート回答者の中には、部屋を間借りしている学生が 10 人含まれている。男女比は、男性 60 人、女性 58 人であった。職業別で見ると、全体の 23%がオフィスワーカーであり、19%が自営業やオフィス以外で働いている人、19%が主婦、25%が学生、残りは未回答であった。

アンケート 3 およびアンケート 4 では、エアコンの設置状況と使用状況について調査を行った。内訳を表 3-26 に示す。カッコ内はエアコンを使用している人の数である。17 軒のうち 14 軒はアンケート調査 2 に回答した住宅であった。

アンケート 5 では、エアコンを使用している住宅に関して、エアコンを使用している部屋での温熱環境および居住者の着衣量や温冷感に関して調査を行った。

表 3-25 アンケートの内容 (表 3-8 から抜粋)

調査番号	アンケート内容	調査時期
アンケート 1	⑥ 扇風機・エアコン・照明器具の所有数と使用頻度、冷房の必要性	2001 年 2 月
アンケート 2	⑤ 扇風機・エアコンの所有数と使用時間、使用方法 ⑥ 冷房使用時の設定温度、快適感、温冷感、必要性	2002 年 7 月
アンケート 3	エアコン非所有者 ① 氏名、住所、年齢、性別、収入、平面図 ② 電気使用量、使用電気器具	2003 年 2 月
アンケート 4	エアコン所有者 ① 氏名、住所、年齢、性別、収入、平面図 ② 電気使用量、使用電気器具 ③ エアコンを設置している部屋 ④ エアコン設置時に行った建物の改善 ⑤ エアコンを使用するときの状況、使用時間、不満など	2003 年 2 月
アンケート 5	エアコン所有者 ① エアコンを設置している部屋の詳細図・気流・温度分布 ② エアコンのスイッチを入れる人 ③ エアコンを使用しているときの温冷感 (日中・睡眠時・長時間使用後) ④ 室温測定結果を見た後の感想 ⑤ 睡眠時の服装・毛布 ⑥ 身体的状況	2003 年 8 月

表 3-26 アンケート 2 とアンケート 3 回答者 (回答住宅) の内訳

	アンケート 2 (調査 2)		アンケート 3	アンケート 4	アンケート 5
	回答者数[人] 回答住宅数 [軒]	エアコンを使用し ている 回答者数[人] 回答住宅数[軒]	回答住宅数[軒] エアコン無し	回答住宅数[軒] エアコンあり	回答住宅数[軒] エアコンあり
低所得者	34 人 18 軒	(0 軒)	15 軒	-	-
中所得者	39 人 21 軒	(6 人 4 軒)	16 軒	(4 軒)	(1 軒)
高所得者	34 人 16 軒	(28 人 13 軒)	5 軒	(10 軒)	(3 軒)
学生(間借)	10 人	(2 人)			
合計	117 人 55 軒	(36 人 17 軒)	46 軒	(15 軒)	(4 軒)

(3) 戸建住宅を対象としたエアコンの使用に関する調査結果

a) エアコンの所有率

図 3-46 にエアコンの所有状況を示す。(アンケート 2 より)

2002 年 7 月の調査時点でエアコンを所有していたのは中所得者層以上であり、低所得者層ではエアコンを所有している住宅は 1 軒もなかった。

エアコンを所有しているのは、調査を行った戸建住宅 55 軒のうち 17 軒であり、全体の 31%であった。中所得者層の戸建住宅では 19%がエアコンを所有しており、高所得者層の戸建住宅では 81%がエアコンを所有していた。高所得住宅ほどエアコンを所有する傾向にある。

エアコンの所有台数を見ると、中所得者層の戸建住宅では 1~3 台のエアコンを所有しており、それらは全て寝室に設置されていた。高所得者層でもエアコンはまず寝室に設置されるが、そのほかに居間や客間、仕事場などにも設置されている。部屋数が多いため設置台数も多い。

日本では、1 台目のエアコンは居間に設置されるケースが多い⁹⁾が、インドネシアでは寝室に設置されている。これは、就寝時により快適な環境を求めているためであろう。

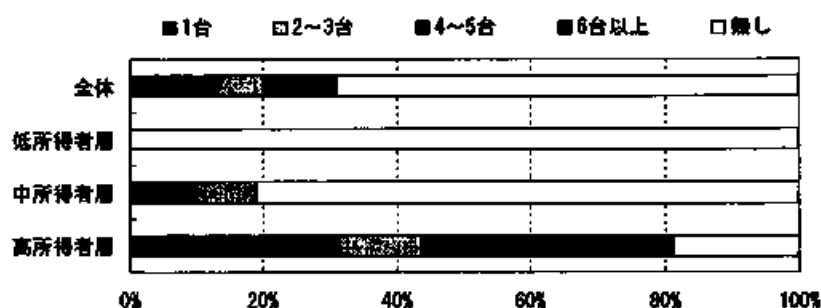


図 3-46 エアコンの所有率 (所得別)

b) エアコンの必要性

図 3-47 に、エアコンの必要性についてのアンケート結果を示す。図 3-47 (上) は所得別に、図 3-47 (下) はエアコンの所有別に示している。

全体では、40%がエアコンを必要と考えており、必要でない人と考えている人よりも多い。所得別に見ると、高所得者層では 71%がエアコンを必要であると考えていた (図 3-47 (上))。中所得者層では 23%が、低所得者層で 26%がエアコンを必要であると答えている。エアコンの必要性は高所得者層で高い。「必要ない」という回答は中所得者層での 41%が最も高く、住宅の温熱環境が良くない低所得者層では 14%と低い。(2) 温熱環境調査の結果で示したように、住宅の温熱環境は低所得者の方が悪く、その改善のためにエアコンは必要な物と考えられていると思われる。

「お金の無駄」と考えている人は、低所得者層で多く高所得者層ではない。所得が上がるにつれ「お金の無駄」という回答が減っていることから、所得が許せばエアコンを購入し、使用する人が増えると予想される。

図 3-47 (下) に、エアコンの所有の有無による必要性に対する意識の違いを示す。現在エアコンを

所有している人のうち 77%がエアコンを必要と感じており、所有していない人でエアコンを必要と考える割合（21%）と比べると、3 倍以上となっている。エアコンを使用している人はその必要性を十分に感じており、一度エアコンを使用し始めるとエアコン無しの生活が考えられなくなると推定される。また、「お金の無駄」であるという回答は、エアコン所有者にはいない。

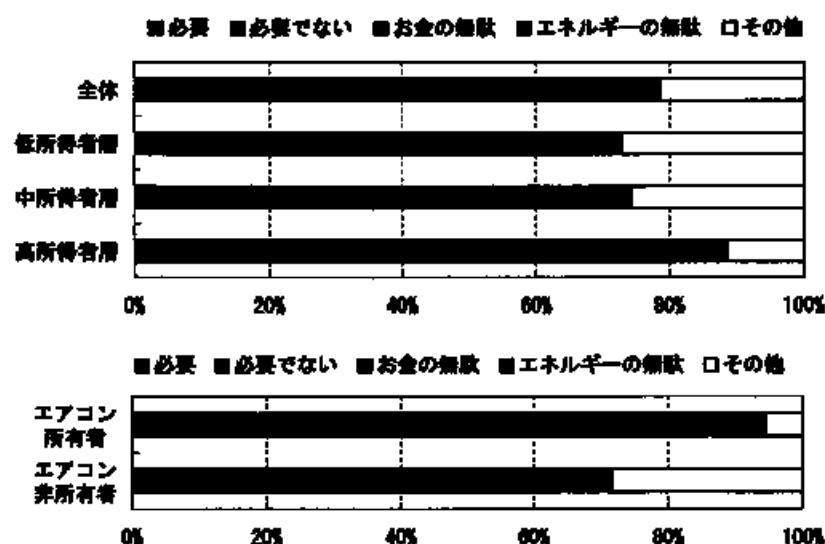


図 3-47 エアコンの必要性（上：所得別、下：エアコン所有別）

c) エアコンの使用状況

使用目的と使用を控える理由

図 3-48、図 3-49 は冷房を使用している人に対して行ったアンケート結果である。

図 3-48 にエアコンを使用しているときの状況を示す。90%近くの住宅で睡眠中にエアコンが使用されている。エアコンが主に寝室に設置されていることと使用時間帯が夜間に集中していることを考えると、第一に睡眠に対して快適な環境が求められていることが明らかである。2001 年 2 月の温熱環境調査においては、戸建住宅、集合住宅ともに、日中の室内環境よりも夜間の環境の方に不快を感じている割合が高く、その不快を取り除くために冷房を使用していると考えられる。

「睡眠中」「睡眠前」以外には「来客時」「暑いと感じたとき」などもあるが、その割合は高くなく、睡眠以外にはあまり使われていないことが分かる。

図 3-49 にエアコンの使用を控える理由を示す。全居住者を対象にして行った「エアコンの必要性について（図 3-47）」では、エアコン非所有者の回答には「お金の無駄」という意見があったが、エアコン所有者の中にはない。控える理由としては、「電気代が高い」という意見よりも「エネルギーの浪費」をあげる人が多い。所得の高い人にエアコンの所有が偏っているため、金銭面では不満が少ないのであろう。今後、より低所得者層での使用が増えるにつれて、ランニングコストが大きな問題となるこ

とも考えられる。しかし、現時点では、「エアコン」＝「エネルギーの無駄」という意識があり、省エネルギー性を主張することで、エアコンの使用を抑制することができるのかもしれない。「エネルギーの浪費」であるという意見同様に高かったのが、「換気（通風）で十分」である。通風は、他のアンケート調査でも重要視されていることが分かっており、窓を開放できる環境であればエアコンの使用は減ると考えられる。建築学科の学生への調査でも「エアコンは住宅の形式を選ばない」と言う意見があったが、その意味は「通風を行うためには住宅の位置や方位を考えなくてはならないが、エアコンを使用する環境では考えなくても良い」と言うことである。つまり、通風が行える環境を作ることがエアコンの使用を減らすためには重要であると考えていることが分かる。

夜間、睡眠中のエアコンの使用割合が高いことと、同時に高所得者層の一部に夜間でもエアコンを使用しない住宅があることを考慮すると、夜間換気の利用や扇風機によりエアコンの使用を減らすことが可能であれば、エネルギー使用量の削減に貢献できると考えられる。また、エアコンを使用する場合でも、建物の熱的性能の向上と夜間換気の適切な利用による室内温熱環境の改善は有効であるし、扇風機を使用すれば冷房に頼らない時間帯を増やすことも可能であろう。

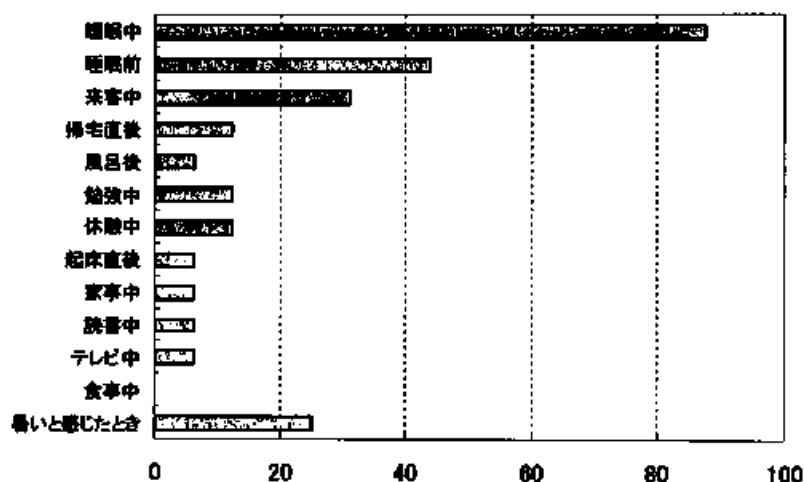


図 3-48 冷房をする時の状況

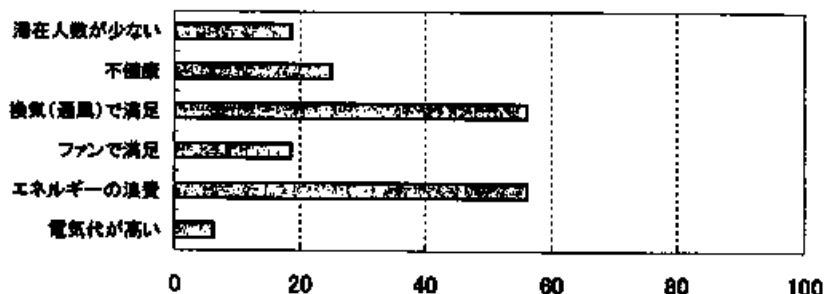
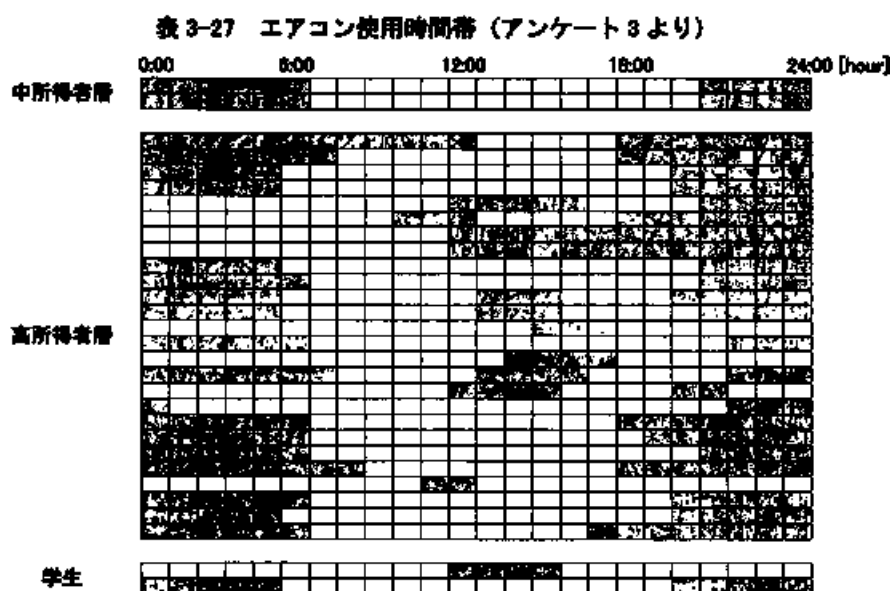


図 3-49 冷房を抑える理由

エアコンを使用する時間帯

表 3-27 に、エアコンの使用時間帯についてのアンケート結果を示す。21:00 から 24:00 までエアコンを使用している人が全体の 80% に達し、さらに全体の 70% は午前 6:00 前後までエアコンを使用し続けている。エアコンは夜間に使用される傾向が顕著である。日中では 12:00 から 15:00 までの外気温度が最も高くなる時間帯に使用する人が全体の 30% ほどある。

使用時間は、最長で 19 時間、平均でも 10 時間となっており非常に長い。日本と比較すると、京都や東京の 2 倍から 3 倍になっている⁷⁾。また、夜間の就寝時には連続的に使用しており、長時間冷房された環境で暮らすことによる健康への影響が懸念される。



使用時の設定温度

表 3-28 に、アンケート 2 から得られたエアコン使用時の設定温度に関する結果を示す。

エアコン使用時の設定温度は、16～30℃の範囲に分布している。ほとんどが 25℃以下を設定温度にしており、エアコンの設定温度は低い。しかし後述するように、実際に形成されている室温は 21～30℃であり、居住者が選択した設定温度と実際の室温には差がある。これは、主として住宅の断熱性および気密性が低く冷房が効率よく利用されず、温度を低くしなければ希望の温度まで室温が下がらないためと考えられる。また一方で、エアコンの効きすぎに不満を抱く人も 2 割ほどいる。エアコンの調節機能が低く、適度に調節されずに低い温度にならざるをえない状況なのかもしれない。

アンケートより回答を得たオフィスのエアコンの設定温度を表 3-29 に示す。すべてが 22℃以下に設定されており、冷房の設定温度がかなり低いことが分かる。

一般的に言って、東南アジアでの冷房使用時の温度は日本と比較すると低いと言えよう^{81) 9)}。日本では、省エネルギーを目指して 28℃設定が推奨されているが、例えばシンガポールでは 26℃が推奨されている。インドネシアでは、そのような推奨設定温度はなく、これがエネルギーの浪費につながっているという意見もある。低い設定温度にする理由としては、「暑いことによる不満」に対して「寒すぎる不満」は耐えられるという考えがあり、使用時の温度が低いことが身体に対して悪い影響を及ぼすとは考えられていないようである。夜間の長時間の使用に加えて、就寝時のエアコン使用温度が低いことについては、省エネルギーの観点からだけでなく、健康の面からも冷房の適切な使用を検討する必要がある。

表 3-28 エアコン使用時の設定温度（住宅）（アンケート調査 2 より）

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30 [°C]
中所得者層															
高所得者層															
学生															

表 3-29 エアコン使用時の設定温度（オフィス）（アンケート調査 2 より）

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30 [°C]
低所得者層															
中所得者層															

d) エアコン設置時の住宅の改善

スラバヤ市の多くの住宅では、写真 3-9 のように開口を多く設けたり、写真 3-10 のようにがらりを設けた窓により、通風を得られるように工夫している。住宅は所得が上がるにつれ、窓の割合が増え開放的になっている。日中の暑さ対策として「窓やドアの開放」と答える住宅がほとんどであった。ただ、このような開放的で低気密な構造は冷房には効率的ではない。

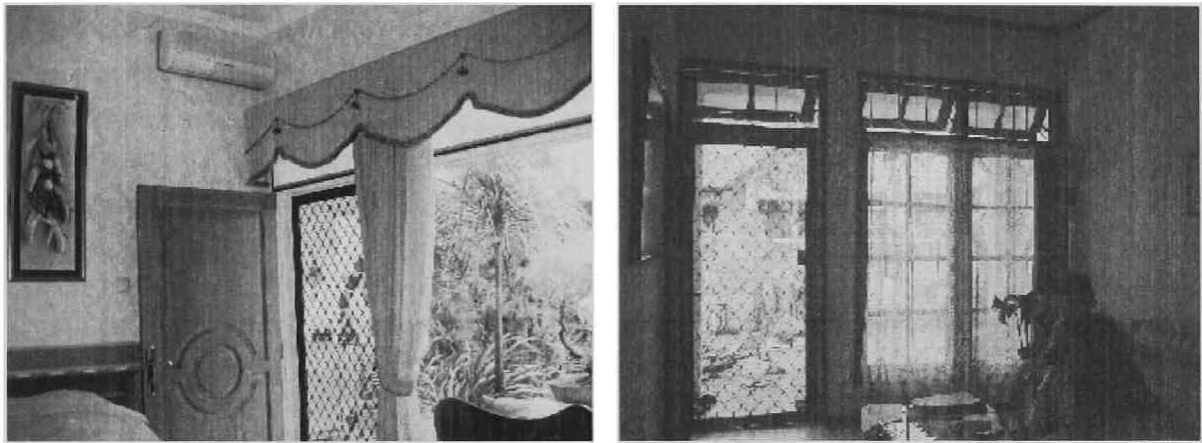


写真 3-9 開口部の大きな部屋（左：高所得者の住宅、右：戸建住宅（タイプ B））



写真 3-10 がらり付きの窓

エアコンを設置する際に建物にどのような改善を行ったかについてアンケートを行った。アンケート対象とした住宅 18 軒中、入居当初からエアコンを設置していた住宅は 4 軒で、残り 14 軒中 8 軒は、写真 3-11、写真 3-12 に示すように、ガラスやプラスチック、段ボールなどで開口部を塞いだと答えている。開口部を塞ぐことによって冷気の流出を抑えているが、写真 3-12 のように住宅によっては新聞紙や段ボールで簡易的に塞いでいるだけの場合もあり、気密化が徹底的に行われているわけではない。また、屋根や壁に断熱材を用いている住宅はなく、断熱については全く意識されていなかった。

このように、スラバヤ市では日本と比較すると、かなり低気密の部屋でエアコンを使用している。従って、換気や壁からの熱損失は大きく、冷房用電力の浪費は避けられない。中所得者層で今後ますます冷房が普及することを考えれば、電力の浪費は計り知れない。冷房を使用する際のエネルギー損失に関しては、冷房を行う部屋にのみ断熱気密化を行うことが有効と考えられる。インドネシアのような熱帯地域ではエアコンは主に寝室に設置されており、夜間の使用時間が長い。そのため、寝室における断熱気密化はかなりの効果が期待できよう。この効果に関しては、第 5 章 (5.5 節) で解析する。



写真 3-11 ガラスによって小窓を閉鎖している様子

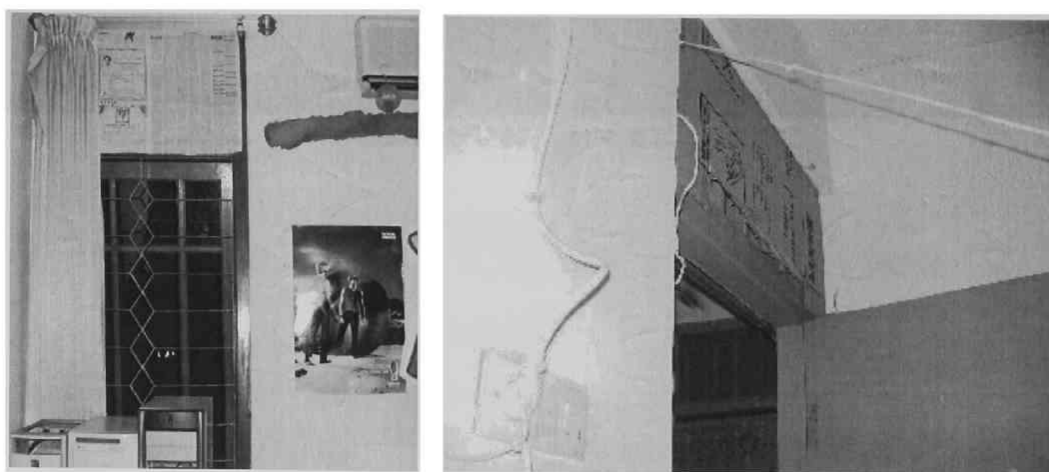


写真 3-12 開口部の閉鎖 (左：新聞紙、右：段ボールによる)

(4) エアコンを使用状況とエアコン使用時の温熱環境

a) エアコンを使用している住宅での電気使用料の比較

エアコンを使用している住宅でのエネルギー消費量を、表 3-30 に示す。2002 年 7 月の値は居住者が回答したおおよその電気使用量であり、2003 年 2 月での値は、House A と House B は 2002 年の電気代から、House C と House E は居住者が回答したおおよその電気代から計算した値である。比較として、エアコンを使用していない住宅 House F の使用量を示す。

電気使用量は、エアコンを 2 台使用している House A では大きくなっている。House A では 2003 年 2 月には居間のエアコンが故障していたが、使用量から考えて 12 月までは使用していたと考えらる。

House A の寝室と居間に設置されているエアコンは、共に写真 3-13 (左) に示すタイプであった。そのほかの住宅では、写真 3-13 (右) に示すタイプのものが使用されていた。

House B、C と House E を比較すると、電気使用量はほぼ倍となっている。House E では日中に人がいないため、エアコンの使用時間が他の住宅と比較すると 2/3 程度と短い。使用時間の差が、電気使用量の差の一因である。

表 3-30 エアコンを使用している住宅での電気使用料

	エアコンの設置場所		床面積 [m ²]	家族数 [人]	電気使用量 [kWh/月]	
	2001 年 2 月	2002 年 7 月			2002 年 7 月	2003 年 2 月
A	居間と寝室	寝室	70	4	400	749 (02 年 12 月電気料金)
B	寝室	寝室	60→100	4	250	300 (02 年 12 月電気料金)
C	寝室	寝室 (2 カ所)	90	-	-	340 (おおよそ)
E	なし	寝室	60	2	134	150 (おおよそ)
F	なし	なし	75	4	172	167 (02 年 1~10 月の平均)

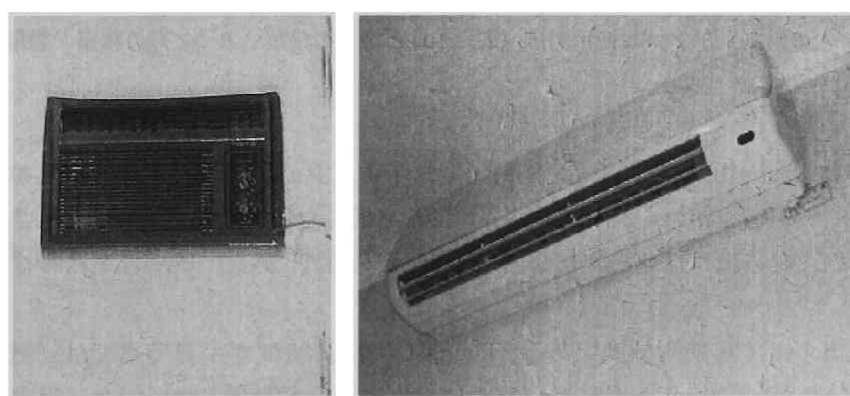


写真 3-13 エアコン (左：一体型、右：セパレート)

b) エアコンの使用時間帯と使用頻度

図 3-50 に、2001 年 2 月と 2002 年 7 月でのエアコンの時刻別使用頻度を示す。ここでの使用頻度とは、(エアコンを使用した日数) / (全測定日数) をパーセント表示にしたものである。

図 3-50 (左) には House A 寝室における 2 月と 7 月のエアコン使用頻度を、図 3-50 (右) には 2 月における寝室とリビングの使用頻度を示す。House A では、2001 年 2 月の時点ではリビングと寝室でエアコンを使用していた。しかし、2002 年 7 月にはリビングのエアコンが故障しており使用していなかった。寝室でのエアコンの使用を比較すると、2 月は 7 月に比べて、日中 12:00 から 15:00 の使用頻度が高い。

図 3-10 に示したように 2 月の方が 7 月よりも日中の外気温度が約 1℃高い。そのため、室内の環境も 2 月の方が悪くなり、冷房の使用頻度が高くなっている。2 月にはリビングのエアコンが使用できたために、17:00 頃から 21:00 頃まではリビングでのエアコン使用頻度が高くなっている。その後、21:00 以降には寝室でエアコンが使用される頻度が高くなっている。7 月には 18:00 以降に寝室でエアコンの使用が始まる。ここで寝室のエアコンを使用するのは、リビングを冷房するためと思われる。7 月の就寝時のエアコン使用は 100%であり、2 月においてもリビングで夜間に使用されている割合を寝室で使用されている割合に加えると 100%になる。就寝時には季節によらず、毎日エアコンが使用されている。午前中はどちらの時期もエアコンの使用はない。

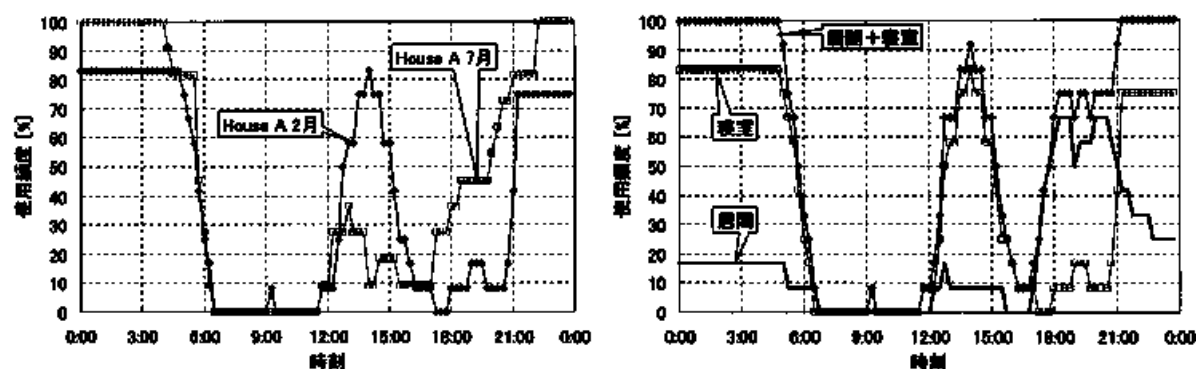


図 3-50 HouseA の時刻別エアコン使用頻度 (左: 2 月と 7 月の寝室、右: 2 月の寝室・居間とその合計)

図 3-51 (左) に House B でのエアコン使用頻度を示す。House B では 2 月と 7 月の使用頻度の差は小さい。ただ、夕方使用頻度が 2 月の方が 7 月よりも低くなっている点が異なる。2 月には日中に温度が上がるものの、夕方にはスコールによって温度が一気に下がり、不快さが和らぐためと考えられる。

図 3-51(右)は House C の使用頻度である。House C では、2001 年 2 月時点では寝室 2 のみにエアコンが設置されていたが、2002 年 7 月には寝室 1 にもエアコンが設置されていた。寝室 2 での 7 月の使用率は 2 月の使用率と似通っており、同じような使い方をしていた。寝室 1 では使用率が高くなっている。新しく設置したエアコンの方を比較的良好に使っていると考えられる。

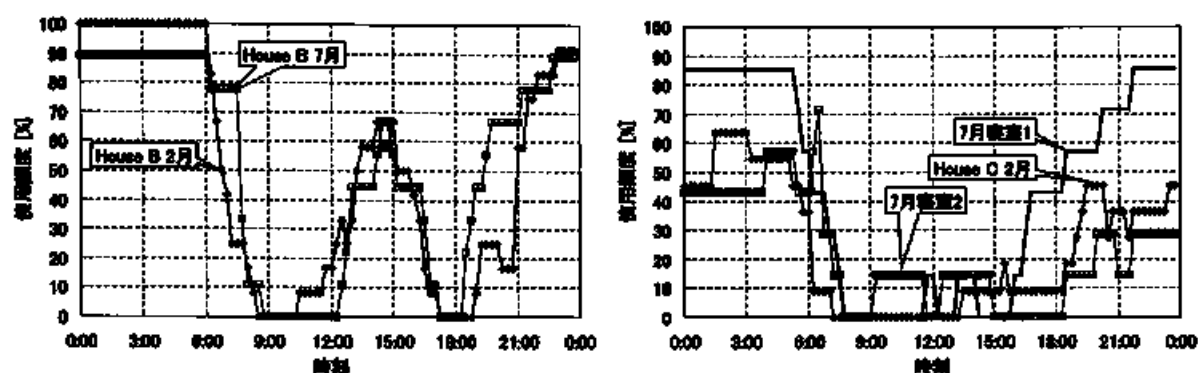


図 3-51 時刻別エアコン使用頻度 (左: House B、右: House C (2月と7月))

図 3-52 は 2001 年 2 月の House D と 2002 年 7 月の House E でのエアコン使用率である。House D では、日中の 12:00 から 15:00 と夕方 18:00 から 24:00 の使用率が高く、夜間から朝方までの使用率は低い。この点は他の住宅とは違った傾向である。室温の測定結果を見ると他の住宅よりもこまめにエアコンの ON/OFF がなされていた。夜間睡眠時でも温度が低下した場合は自動的にスイッチが切れるかもしくは住民がエアコンをとめている可能性がある。

House E では夜間のみ毎日使用している。House E では 2001 年 2 月の時点ではエアコンが設置されておらず、その後 2002 年 7 月までに設置された。日中の使用が見られないのは居住者が外出しているためである。

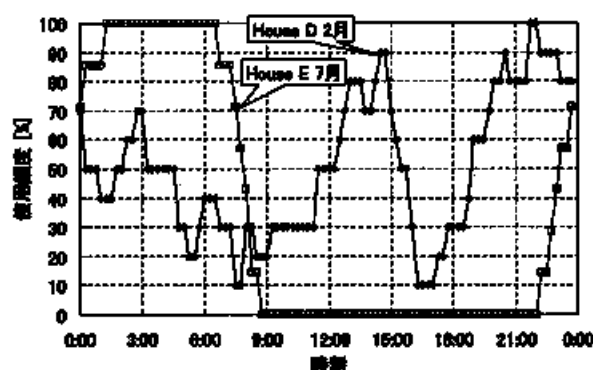


図 3-52 House D (2月) と House E (7月) の寝室における時間別エアコン使用頻度

c) エアコンの使用時間

表3-31に温湿度測定を行った住宅の日平均エアコン使用時間と電気使用量を示す。House Cでの2001年2月を除くと、すべての住宅で夜間連続的に使用しているために一日の使用時間が8時間を超えている。

エアコン使用時間を日本と比較すると、日本が一日約7時間であるのに対し(京都6.5時間、那覇7.5時間、東京7時間)^{10) 11)}、スラバヤでは8時間から長い場合は12時間におよぶ。日本では就寝前に使用頻度のピークをむかえ午前3:00ごろには50%以下になるのに対し、調査を行った住宅では起床時の午前6:00ごろまで90%以上の高い使用頻度を保っている。日本と比較すると、夜間のエアコン使用状況が決定的に異なっていることが分かる。また、那覇とスラバヤの外気温、室温がほとんど同じであることから、高湿度による不快さが夜間のエアコン使用時間を長くしている原因の一つと考えられる。一般に熱帯地域(亜熱帯地域)ではこのような使い方が見られ¹²⁾、夜間室内温熱環境の改善はスラバヤに限らず、熱帯地域全体で求められることであると考ええる。

表3-31 各住宅のエアコン使用時間 (18:00～午前9:00/午前9:00～18:00)

	エアコン使用時間 [時間/日]	
	2001年2月	2002年7月
House A(K22)	4.4 (リビング) 9.5 (寝室)	11.1 (寝室) (1.2/9.9)
House B(L26)	12.1	12.6 (1.9/10.7)
House C(L33)	5.8	8.3 (寝室1) (0.7/4.6) 10.75 (寝室2) (1.6/12.3)
House D(L27)	12.6	-
House E(K6)	-	8.4 (0.0/8.4)

d) エアコンを使用していない住宅との室内温湿度の比較

図3-53に2001年2月の温湿度測定結果を示す。図3-53(左)はエアコンを使用していない住宅(House F)であり、図3-53(右)は寝室でエアコンを使用している住宅(House A)である。

外気温は日中33℃近くまで上昇している。エアコンを使用していない住宅では、日中のリビングの室温は外気温の上昇からやや遅れて32℃を超えており、かなり暑い環境にある。一方、エアコンを使用している住宅でも、日中の室温は31℃近くまで上昇している。この住宅の居住者(主婦)は、14:00頃に寝室でエアコンを使用していた。その時の寝室室温は2月19日、20日両日共に30℃程度であった。House Aでは、日中に30℃を超えるとエアコンを使用し始めているようである。エアコンをONにすると30分程度で温度が3℃程度下がり、1時間ほど経つと5℃程度下がる。その後はほぼ一定の温度となっている。日中のエアコン使用時の温度は25～26℃程度である。エアコン使用時には、絶対湿度が大きく下がっている。エアコンの使用をやめると、温度は20分程度で3～4℃程度上昇していることから、建物の熱損失が大きいことが伺える。

夕方以降、エアコンのない住宅(House F)では室温が29～28℃程度まで下がっている。夜間は、ほとんど室温が下がらないかもしくは若干上がっており、ほぼ28℃程度で推移している。一方、エアコ

ンを使用している住宅では、21:00以降から起床時まで連続的に使用されており、就寝中にエアコンが止まるようなタイマー設定はなされていない。エアコンをつけると20分程度で温度が2℃下がり、1時間程度で25℃程度まで下がっている。日中の測定結果から分かるように、エアコンを切ると室温が一気に4℃近く上がることから、就寝中にエアコンを切ると室温が28℃を超えると予想され、そのためにエアコンが切れるような設定にしていなかったと考えられる。エアコンを使用していないリビングでは、21:00頃に温度が1℃近く上がっている。

日中と夜間を比較すると、エアコンによる温湿度低下は夜間のほうが大きい。温度低下に関しては、夜間の外気温が日中より低いこと以外に、夜間のほうが長時間使用しているためと考えられる。

図3-54に2002年7月（乾期）での、エアコンを使用している住宅と使用していない住宅での温湿度測定結果を示す。エアコンを使用していない住宅（図3-54（左））では、日中のリビングの室温は30℃をやや超えている。夜間の室温は29℃付近からゆっくりと下がり、午前6:00頃に27℃程度まで下がる。

エアコン使用時のHouse Aの温湿度に注目する。7月では、ほとんど夜間のみエアコンを使用している。エアコン使用時の温湿度は平均で25.4℃、48%であり、エアコンのないHouse Fと比べると、それぞれ4.1℃、11%低い。また、その間の最低温湿度は23.7℃、43%であり、2月の最低温度より約1℃低い。House Aのエアコン使用開始温湿度と最低温湿度を比較すると、冷房による温湿度低下は、7月の方が2月より大きい。これは、2月と7月ではエアコンの設定温度が違うこと、7月の方が長時間エアコンを使用していることによると考えられる。また2月と同様に、就寝途中でエアコンが切れるようなタイマー設定はなされていない。

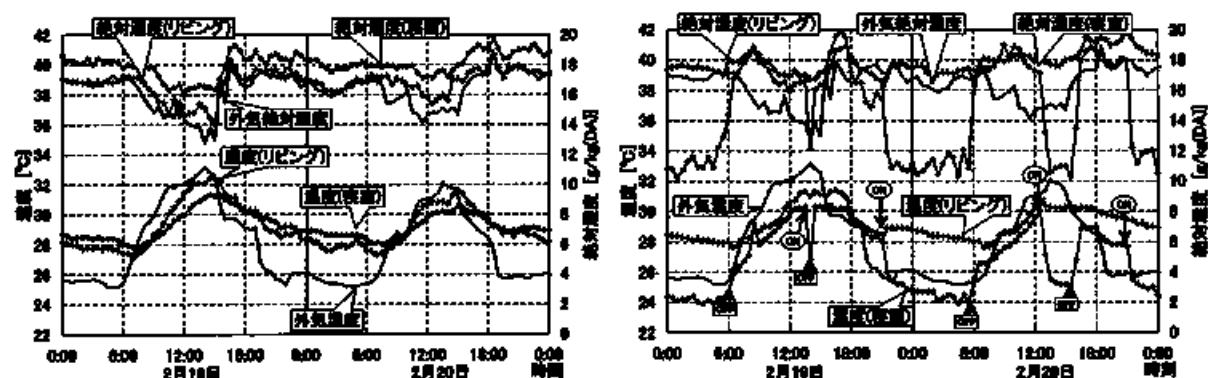


図3-53 居間・寝室の温度・絶対湿度（2001年2月）（左：House F エアコンなし、右：House A エアコンあり）

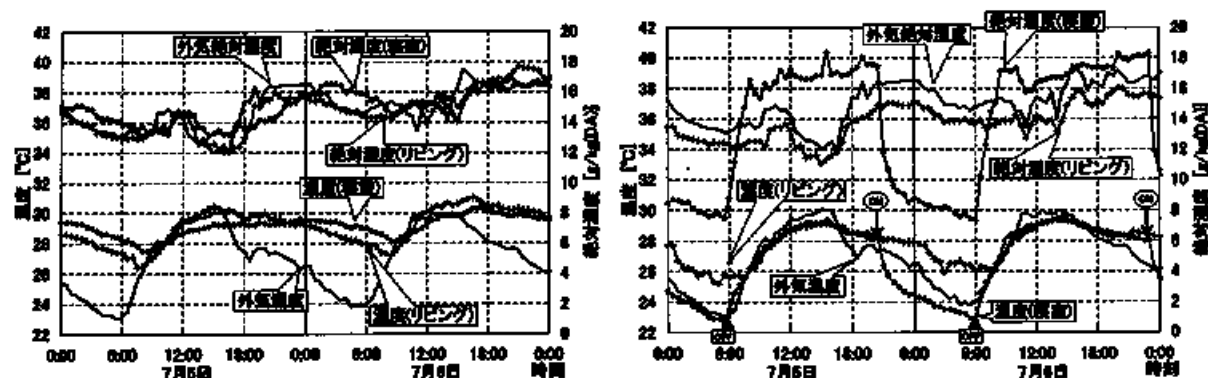


図3-54 居間・寝室の温度・絶対湿度（2002年7月）（左：House F エアコンなし、右：House A エアコンあり）

e) エアコン使用時の温度の住宅間の比較

全ての住宅で、エアコン使用時の温度は、日中で27℃程度、夜間は24～26℃であった。エアコンの使用頻度については、「いつも」「よく使う」と答えていた。

2001年7月について、寝室のみでエアコンを使用している3軒の住宅を比較する。House A、Bの使用時間（表3-31）が11.1時間、12.6時間であるのに対して、House Eでは8.4時間と約2/3となっていた。House Eで使用時間が短くなっているのは、居住者が共働きのために日中は不在であり、午前9時から夕方6時の使用時間が0であるためである。夜間から午前中（18:00～午前9:00）の使用時間を比較すると、House Aでは9.9時間、House Bでは10.7時間であるのに対して、House Eでは8.4時間である。House Eでは6:00以降も使用しているが、使用開始時間が遅いことが、他の住宅と比較して使用時間が短くなっている理由である。

図3-55は、2002年7月8日と9日の3軒の住宅での室内温湿度変動を示している。House Eでは、House AやHouse Bに比べ、朝にエアコンを停止させてからの室温上昇が緩やかである。House Aとの差が顕著に見られる。House Aの最高室温が8日12:00には29.8℃、9日では午後1時に30.2℃になっているのに対して、House Eでは8日12:00では28.4℃、9日13:00では28.6℃となっている。日中の最高室温はHouse Aより約1.5℃、House Bと比較しても約1℃低くなっている。この原因として考えられるのが、日中の窓開放である。House AやBでは生活習慣として、日中は通風のために窓を開放している。一方、日中に不在であるHouse Eでは窓・扉を閉め切っているために、室温が低く保たれている。室温が低く保たれていることから、夕方には特に冷房を使用する必要がなくなり、そのため、エアコンの使用開始時間が遅くなる。それによって使用時間が短くなっている。窓を開放することによって得られる通風は、人体からの放熱を促すために有効であるが、室温が外気温度よりも低い場合には室温をあげることにつながるので、必ずしも有効とは限らない。図3-55は、このことをまさに示している。

また、House Eでは、エアコン使用開始直後の室温降下が急激である。例えば、House Aでは29.4℃から26.4℃まで下がるのに約2時間を要しているのに対して、House Eでは28.9℃から24.9℃まで30分程度で下がっている。このことから、House EはHouse Aと比較すると気密性が高いと考えられる。これら3軒の住宅は、構造などはほとんど違いがなく、建物の気密性能の差も小さいと考えられるが、開口部の塞ぎ方などで差が生じているのであろう。

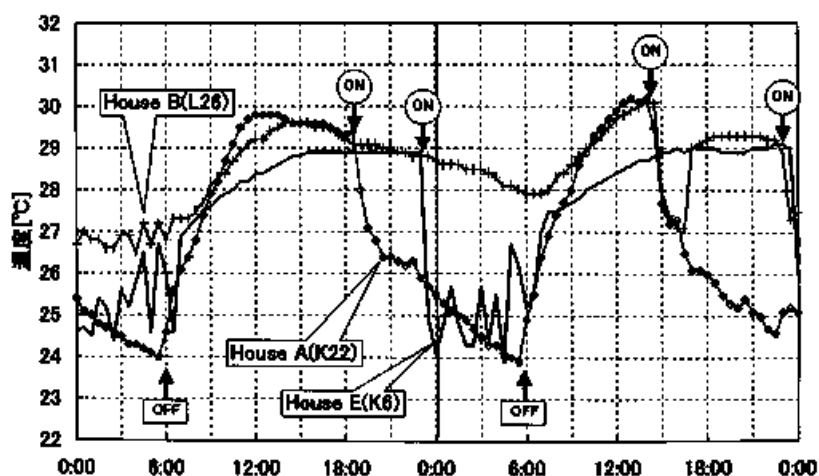


図3-55 エアコンを使用している住宅の室温

表3-30に1ヶ月の電気使用量を見ると、House Eでの電力使用量はHouse BやHouse Aよりも少なく、住宅の気密性と窓の開放の仕方がエアコンの電力使用量に大きく影響しているものと考えられる。

以上、エアコンの使用時間がHouse Eでの電力使用量を少なくしており、エアコンの使用時間は室温に影響を与えている。つまり、日中に室温をあげることにつながる通風はできる限り控え、さらに住宅の気密性能をあげることが、冷房電力使用量の削減になると考えられる。

f) 使用開始温度と最低温度

図3-56および図3-57は、エアコン使用開始温度とエアコン使用中の最低温度を示している。全住宅のデータであり、棒グラフは度数分布を、折れ線グラフは累積頻度を示している。図3-56は2001年2月の結果であり、図3-57は2002年7月の結果である。ここで、日中とは午前6:00～18:00までとし、夜間は18:00～午前6:00としている。図3-58は2月と7月の累積頻度の比較である。

2月（雨期）の使用開始温度は、日中では26～32℃で、多くは30℃前後に集中している。夜間は27～31℃で多くは29℃前後に集中しており、夜間の方が日中よりもやや使用開始温度が低い（図3-56）。最低温度は日中が25～30℃であり、夜間は24～28℃程度の値となっている。使用時の最低温度も夜間のほうが低い。

7月（乾期）におけるエアコン使用開始温度は、日中は28～30℃、夜間は26～29℃となっている。使用時の最低温度は日中が23～29℃、夜間が23～27℃となっている。どちらも、2月同様に夜間のほうがやや低い。2月と7月を比較すると、エアコンの使用開始温度はほぼ同じである（図3-57）。最低温度は7月のほうが2月より低い。これは7月の外気温が2月より低いためと考えられる。

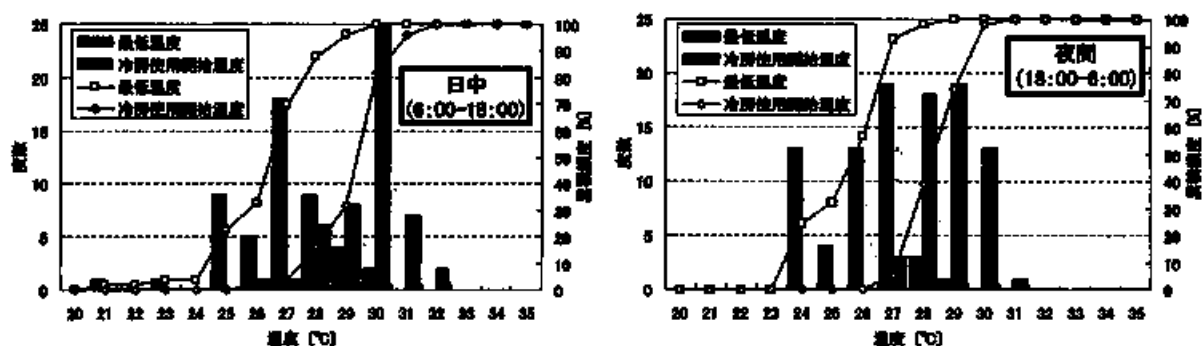


図3-56 2月のエアコン使用開始温度と最低温度（左：日中、右：夜間）

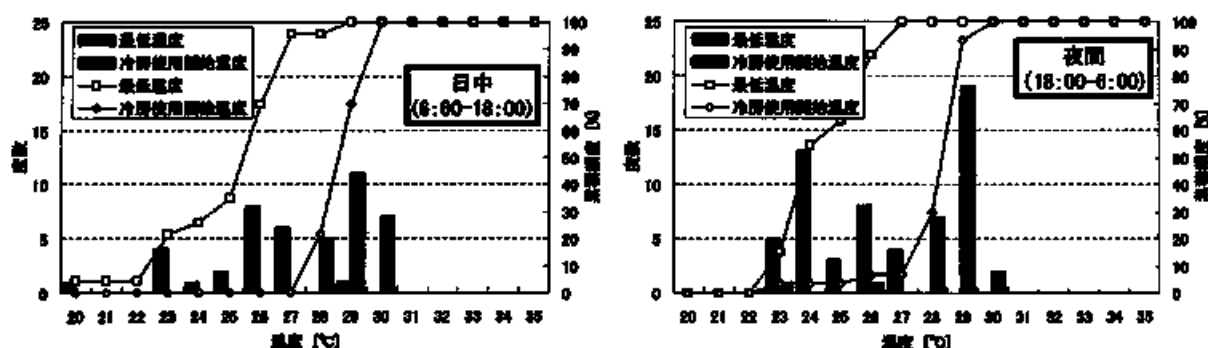


図3-57 7月のエアコン使用開始温度と最低温度（左：日中、右：夜間）

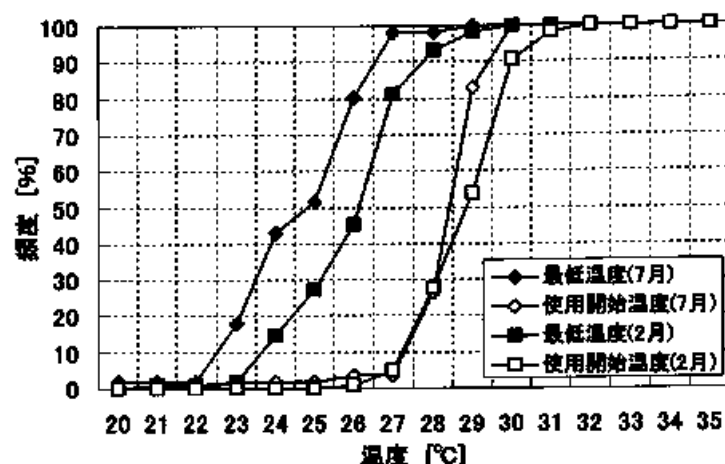


図 3-58 2 月と 7 月のエアコン使用開始温度と最低温度

g) エアコン使用開始時の温湿度

図 3-59 に 2001 年 2 月のエアコンを使用開始したときの温湿度を、日中(12:00~18:00:図 3-59(左))と夜間(18:00~午前 6:00 以降:図 3-59(右))に分けて示す。測定期間中の全データをプロットしているため、この結果には住宅による違いを含んでいる。

エアコンは日中では 27℃以上で使い始められており、多くは 29.5~31℃、60~75%に分布している。27~29℃では使用は少なく、27℃以下での使用はない。温度が 27~29℃では相対湿度 78%以下では使用されていない。日中(図 3-59(左))は温度が高くなると低い相対湿度でもエアコンが使用され始めている。

一方、18:00 以降の使用開始温度の多くは 27.5~30.5℃に分布し、相対湿度は 65%以上である。日中と同様に 27℃以下での使用はないが、27~29℃で相対湿度が 78%以下でも多く使用されている。日中は温度が高くなると低い相対湿度での使用が見られたが、夜間はその傾向が見られない。夜間は就寝時に習慣的にエアコンを使用し始める傾向があり、温度が低く相対湿度も比較的低い時期にも使用されていることが考えられる。

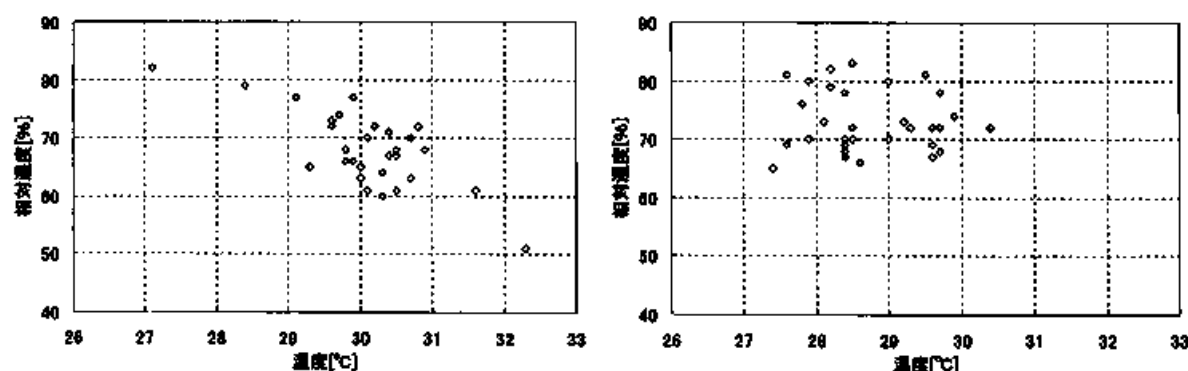


図 3-59 エアコン使用開始時の温湿度 (左: 日中 (12:00~18:00)、右: 夜間 (18:00~午前 6:00))

h) エアコン使用時の温湿度

図 3-60～図 3-64 に各住宅の冷房時の温湿度を、日中 (12:00～18:00) と夜間の就寝時間帯 (21:00～午前 6:00) に分けて示す。冷房時の温湿度から、冷房時に温度制御がなされている住宅 House B、House D、House E と、冷房を使用し続け温度が下がっていく住宅 (House A、House C) に分けられる。

House A (図 3-60) では、寝室と居間でのエアコン使用時の温湿度の差が大きい。日中および就寝時共に、居間の方が温湿度は高い傾向にある。日中のエアコン使用時の温湿度は、居間では 28～31℃、60～80% であり、寝室では 23～27℃ に集中している。7 月は寝室のみの結果ではあるが、温度は 26～28℃ に集中しており、2 月よりも使用中の寝室温度は高い範囲に分布している。夜間の就寝時 (図 3-60 (右)) は、2 月においては、居間の温湿度は 26～29℃、60～70% であった。就寝時の寝室の温湿度は、2 月では 24～26℃、50～70% の範囲に分布しており、室温は 21℃ まで下がっている。7 月も使用温度は低く、23～27℃、40～60% に分布している。相対湿度が低いからといって、エアコンを高めの温度で使用するということはないようである。両時期ともに、使用時の温度はとても低いと言えよう。エアコン使用時の居間の温度は寝室よりも高く、居住者は就寝時に低い温度を好んでいると考えられる。

House C (図 3-62) では、日中は 25～27℃ (2 月)、7 月では寝室によって差があるが 23～29℃ の範囲にある。夜間では、2 月は 24～27℃、7 月は寝室 1 では 24～26℃、寝室 2 では 23～26℃ の範囲にあった。この住宅は、2 月以降 7 月までに、寝室 2 にエアコンを新たに設置していた。新しい方のエアコンの性能がより高いと考えられ、同じように使用していても使用時の温度が低くなっている。House A 同様に冷房使用開始後に温度が下がっており、エアコンの温度調節をあまり行っていないと考えられる。

House B (図 3-61) では、両時期とも冷房の使用温度は似通っており、温度調節がなされている。冷房の使用温度は日中で 26.5～30℃ (2 月)、26～30℃ (7 月)、就寝時はどちらも 26～28℃ であった。House D でも、室温が調節されているようである。使用時の室温は、日中は 26.5～30℃、夜間は 24～29℃ であった。House E では夜間のみに冷房が使用されていたが、使用時の室温は 24～27℃ であった。温度制御がなされていれば、この程度の温度を好むことが分かる。

すべての住宅で、冷房時の温度は日中の方が夜間より高い傾向にある。夜間では 24～28℃ の範囲にあり、朝方にはかなり室温下がっている。就寝時は写真 3-14 のようなブランケットを使用しているだけで、エアコン使用時の温度が低くなった場合には、人体からの放熱が大きいと考えられ、健康への悪影響が考えられる。

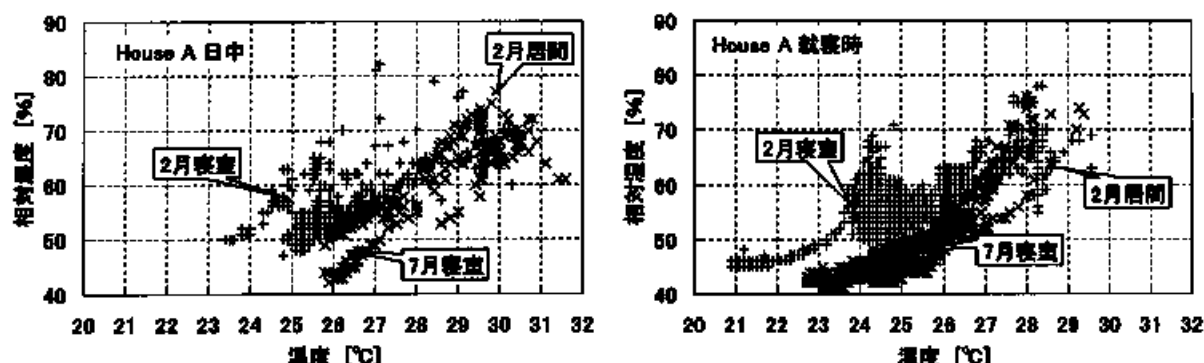


図 3-60 エアコン使用時の温湿度 (House A) (左: 日中 (12:00～18:00)、右: 就寝時 (18:00～6:00AM))

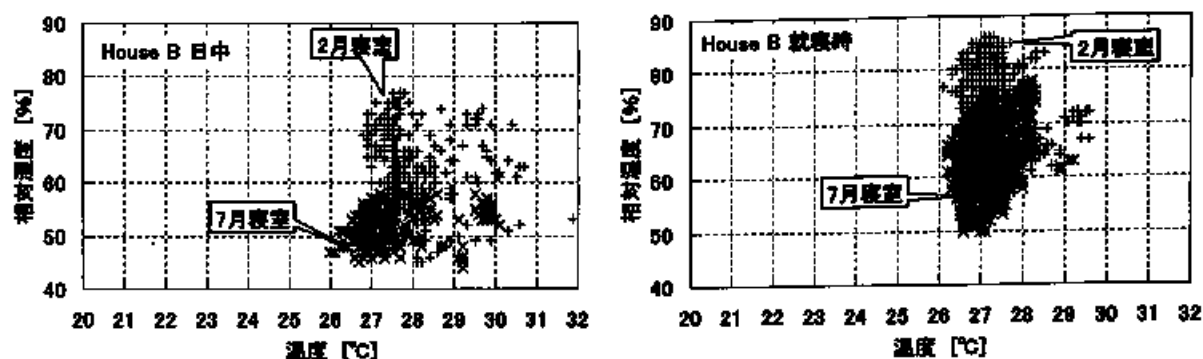


図 3-61 エアコン使用時の温湿度 (House B) (左: 日中 (12:00~18:00)、右: 就寝時 (18:00~6:00AM))

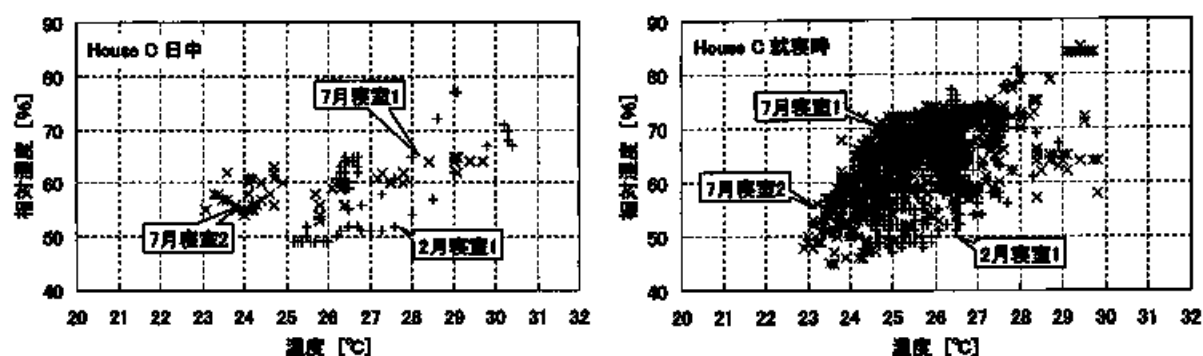


図 3-62 エアコン使用時の温湿度 (House G) (左: 日中 (12:00~18:00)、右: 就寝時 (18:00~6:00AM))

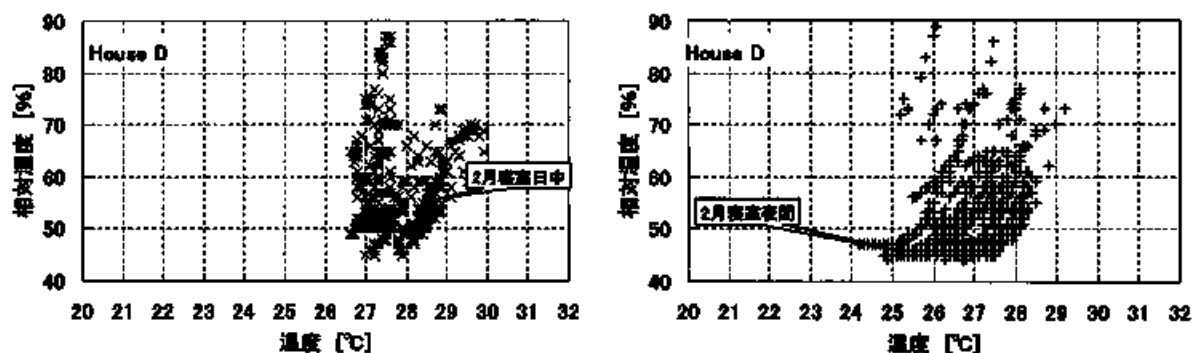


図 3-63 エアコン使用時の温湿度 (House D) (左: 日中 (12:00~18:00)、右: 就寝時 (18:00~6:00AM))

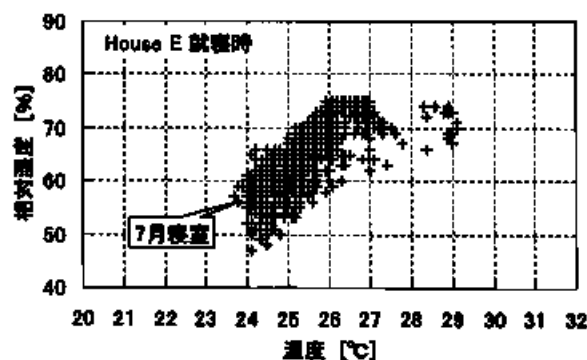


図 3-64 エアコン使用時の温湿度 (House E) (左: 日中 (12:00~18:00)、右: 就寝時 (18:00~6:00AM))

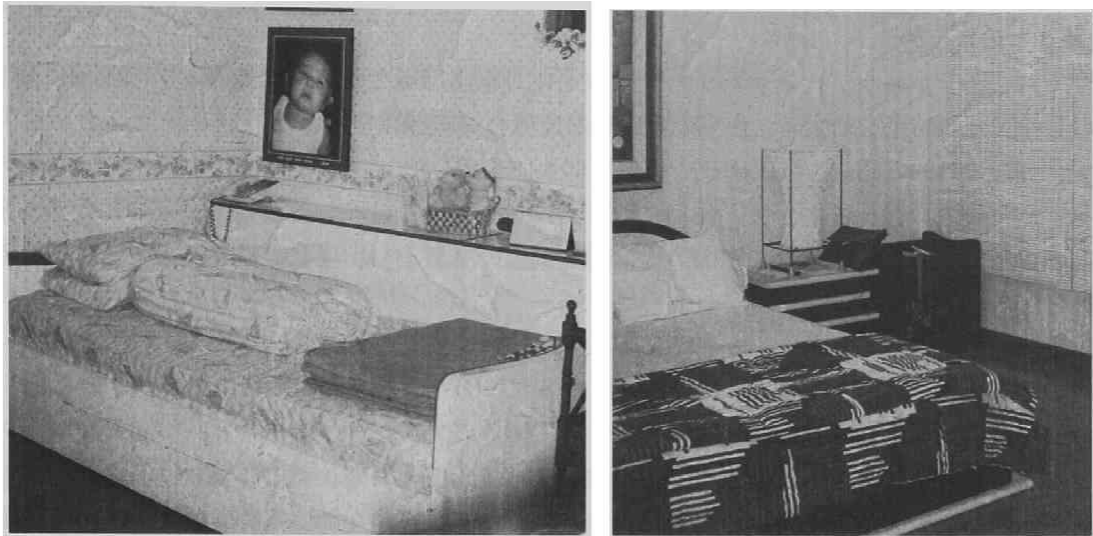


写真 3-14 寝室の様子

i) エアコンを使用しているときの着衣

すべての住宅で、居住者はエアコン使用時も T シャツに短パンといった、軽服で過ごしていることが分かった。また、就寝時には厚手のコットン毛布を使用するか、もしくは全く毛布などを使用していなかった。ただ、少数であるがエアコンを長時間使用した後に部屋の温度が下がってくると、毛布などを使用する人もいた。

j) エアコンを使用している住宅での居住者の意識

エアコンを使用している住宅において、使用時に感じることをアンケート調査した。House B では、エアコンを ON するのは主婦であり、就寝時間が近くなると使用を開始している。また、屋外が暑いときにも寝室でエアコンを使用していた。主婦からは「エアコンの使用している部屋と屋外を行き来することによって、頭痛を感じることもある」という回答が得られ、冷房時の温度と外部の温度の差による健康被害が伺えた。ただ、冷房された環境は良いと考えていた。

House E では、エアコンを使用するのは夫で、妻はエアコンを使用している環境を好んではいなかった。エアコン使用時の環境を妻は寒すぎると感じ、長時間の使用は不健康であると考えていた。エアコン使用時に彼女は怠さを感じると答えたが、夫はちょうど良いかもしくはより寒い環境の方がよいと考えていた。居住者によって捉え方は大きく異なるが、エアコンを使用することによってしか暑さを緩和できないため、不快に感じながらもエアコンを使用しているのであろう。

House A でも、就寝時間が近づくとエアコンをつけていた。ここでは、全員がエアコンを好んでおり、冷房された環境を好ましいものであると考えていた。

3.4 第3章のまとめ

本章では、インドネシア・スラバヤの一般住宅を対象に行った温熱環境調査と温熱環境に関する居住者の意識調査の結果を踏まえ、住宅の室内温熱環境の実態把握を行った。

まず、調査の目的と調査方法、調査対象住宅について示した。

アンケート調査の結果をもとに、住宅に取り入れられている環境調整技術と居住者による住宅の温熱環境の評価について検討した。室内の温熱環境調査の結果から、現状の温熱環境とその改善点について検討した。

調査の結果をまとめると次のようになる。

(1) 取り入れられている環境調整技術

スラバヤ市の住宅に取り入れられている環境調整技術として日射の遮蔽があげられる。どの住宅でも日射が室内に流入するのを避けるために、植栽やカーテンが積極的に用いられている。しかし、所得が上がるにつれて開口部を多く設けた構造になっており、日射が室内に流入しやすい環境となっていた。今後、問題になると考えられる。

日射遮蔽の他には、窓にがりを設けたり、扉上部に小窓を設置し、通風が得られるような工夫がなされていた。居住者のほとんどが、暑い場合の対処法として窓・扉の開放をあげており、積極的に通風を行おうとしている。このように、日中には通風を重視しているが、夜間には防虫や防犯の観点から窓を開放できないため室内環境を悪化させていた。積極的に夜間換気を行う工夫が必要であることが分かった。中所得者が居住している戸建住宅における測定では、扉・窓を開放すれば居間では0.3m/s前後の風速が得られていた。しかし、寝室では開口部が小さいことから涼感を得るほどの風速は得られていなかった。夜間換気を行うにあたっては、換気経路の確保も重要である。

(2) 住宅の温熱環境

戸建住宅では所得によって住宅の構造などに差があり、それに伴い室内環境が大きく異なっていた。

主に低所得者層が居住している戸建住宅では、屋根の断熱性が不十分なため日中に室内温度が上昇していた。さらに、増築により居室が閉鎖的になり外気との換気量が減ったため、外気温度が室内温度よりも低い場合でも室温が下がらない。温熱環境に対する評価では、乾期には気温の最も高くなる日中に不快を感じている人の割合が高くなっていた。一方、雨期には日中よりも夜間に不快を感じる人が多かった。従って、乾期には日中の環境の改善が、雨期には夜間の環境改善がまず求められることが分かった。

主に中所得者が居住している戸建住宅では、低所得者が居住している戸建住宅よりも室内の温熱環境は良好で、日中の室温は外気温度よりも低く保たれていることもあった。夜間の室温は外気温度よりも3℃程度高く、夜間換気によって室内環境を改善できる可能性がある。室内の快適性については、日中には不快を感じている人が乾期・雨期共に多く、環境の改善が必要である。乾期の夜間に不快を感じている人は日中よりも少ないが、雨期の夜間を日中よりも快適であると考えている人は少なくなり、夜間の環境改善が必要であるといえる。

集合住宅では、深い軒によって日射熱の室内への流入が防がれており、低所得者が居住している戸建住宅よりも良い環境が得られていた。風速は上層階ほど強く、換気量が多いため日中・夜間とも室温は上層階の方が外気温に近い。夜間換気によって、上層階の夜間の室温は低層階よりも1℃程度低くなっていた。

(3) エアコン使用時の環境とエアコンを使用することに対する意識

エアコンを必要なものと考えている割合は所得が上がるほど高く、現在エアコンを使用している人の中では80%にものぼった。

エアコンは主に就寝時に使用されていた。また、日中では午後に2時間程度使用されているが、この時間帯は昼寝時間にあたっている。エアコンの使用時間は一日あたり6時間から長い場合は12時間にもおよび、エアコンの長時間連続使用が電気使用量を増加させていることを示した。

エアコンを導入したときには、扉上の開口部を閉じるなどして開口部からの冷気の流出を防いでいたが、簡易なものが多く徹底した気密化は図られていない。また、屋根などに断熱を行っている住宅はなく、断熱性能の低さがエネルギー消費量の増大につながっていると推定される。

エアコン使用時の室温は、多くは25～27℃程度であり、日本での値と同程度であった。エアコンの長時間使用に加えて設定温度の低さのため、住宅によっては21℃まで室温が下がっており、健康への悪影響が懸念された。また、居住者が設定している設定温度は実際に形成されている室温より低い場合が多く、断熱、気密性の低さが冷房用エネルギー消費量の増大につながっていると考えられる。

以上、室内温熱環境測定とアンケート調査の結果から推定された事柄については、第4章での環境共生手法の検討を踏まえた上で、第5章における解析により、その妥当性を検討する。さらに、その結果に基づき温熱環境を改善するための環境調整技術を提案する。

参考文献

- 1 布野修司：カンボンの世界、Parco 出版局、1991 年 7 月
- 2 山本直彦、田中麻里、脇田祥尚、布野修司：ルーマー・ススシ・ソンボ（スラバヤ、インドネシア）の共用空間利用に関する考察、日本建築学会計画系論文集、第 502 号、pp. 87-94、1997 年 12 月
- 3 神吉健美：インドネシアの都市小規模住戸におけるルアン・タムの確保と重視に関する研究-再開発複層集合住宅の隅方調査を通して-、京都大学大学院、修士論文、1993 年
- 4 日射量は測定した水平面全天日射量を基に、実験住宅によって遮られる天空放射と、実験住宅からの壁からの反射日射を考慮し、Berlage の式と Bouguer の式を用いて直散分離を行って求めた。直散分離した後に、水平面全天日射を求めた。実験住宅によって遮られる部分を 0.5（実験住宅の壁の形態係数を 0.5）とし、壁の反射率を 0.3 とした。
- 5 Mas Santosa : Cooling for High Density Settlement : Transforming the Tradition、23th National Passive Solar Conference in Albuquerque、pp. 99-105、1998 年 7 月
- 6 鈴木憲三、松原素樹、森田大、坊垣和明：札幌、京都、那覇の公営集合住宅における暖冷房環境の比較分析 暖冷房使用に関する意識と住まい方の地域特性と省エネルギー対策の研究 その 1、日本建築学会計画系論文集、第 475 号、pp. 23-30、1998 年 3 月
- 7 坊垣和明、池沢孝男、吉野博、鈴木憲三、赤林伸一、井上隆、大野秀夫、松原素樹、林徹夫、森田大：夏期および冬の居住室温とその地域性に関する研究-全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフサイクルに関する研究-第 2 報、日本建築学会計画系論文集、第 462 号、pp. 171-178、1998 年 2 月
- 8 谷本潤、萩島理、片山忠久：冷房発停にマルコフモデルを適用した場合の熱負荷特性に関する基礎的検討 第

3 報—実測に基づく冷房発停状態の遷移特性に関する考察、空気調和・衛生工学会論文集、No. 82、pp. 199-204、2000 年 7 月

- 9 坊垣和明、池沢孝男、吉野博、鈴木憲三、赤林伸一、井上隆、大野秀夫、松原斎樹、林徹夫、森田大：夏期および冬期の居住室温とその地域性に関する研究—全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフサイクルに関する研究—第 2 報、日本建築学会計画系論文集、第 462 号、pp. 171-178、1998 年 2 月
- 10 鈴木憲三、松原斎樹、森田大、坊垣和明：札幌、京都、那覇の公営集合住宅における暖冷房環境の比較分析 暖冷房使用に関する意識と住まい方の地域特性と省エネルギー対策の研究その 1、日本建築学会計画系論文集、第 475 号、pp. 17-24、1995 年 9 月
- 11 坊垣和明、池沢孝男、吉野博、鈴木憲三、赤林伸一、井上隆、大野秀夫、松原斎樹、林徹夫、森田大：全国調査に基づく住宅の暖冷房時間および暖冷房期間に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 475 号、pp. 41-47、1998 年 7 月
- 12 宮坂拓之、吉野博、吉野泰子、張晴原、李念平、関山、重野貫之：中国都市住宅における設備と室内温熱環境に関する実態調査 その 3 長沙及び北京における夏期調査の結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp. 203-204、2003 年 9 月

第4章 環境調整技術の評価

4.1 はじめに

4.2 インドネシア・スラバヤに建つ実験住宅における環境調整技術の評価

- (1) 実験住宅での温熱環境評価の流れ
- (2) 実験概要
- (3) 温熱環境実測結果
- (4) 建物内外の気流解析
- (5) 室内温湿度解析
- (6) 実験住宅に取り入れられた個々の手法の検討

4.3 マレーシア・ペナンに建つ宿泊施設における環境調整手法の実験

- (1) 実験の目的
- (2) 実測概要
- (3) 温熱環境実測結果
- (4) 室内風速測定結果
- (5) 室内温湿度解析
- (6) 熱容量の大きな建物の実測と解析のまとめ

4.4 第4章のまとめ

第4章 環境調整技術の評価

4.1 はじめに

本章では、高温多湿気候で有効と考えられる環境調整技術について、実験住宅および宿泊施設における測定とその解析との比較により、それら手法の有効性を評価することを目的とする。4.2 節では、インドネシア・スラバヤ工科大学構内に建てられた環境共生実験住宅について、4.3 節はマレーシア・ペナンのマレーシア理科大学構内に建つコロニアルスタイルの宿泊施設にて行った実験についての検討結果を示す。室内外の温熱環境の測定を行い、その結果を用いて提案する環境調整手法の効果を解析によって検討した。

4.2 インドネシア・スラバヤに建つ実験住宅における環境調整技術の評価

(1) 実験住宅での温熱環境評価の流れ

本実験住宅には種々の環境共生手法や環境調整技術（パッシブクーリング手法）が導入されている。まず住宅各部の温湿度測定を行い、導入されている環境調整技術の効果を調べる。次に、室内環境を再現する数値解析モデルを作成する。測定値の再現性を確認した上で、このモデルを用いて個々の環境共生手法が室内環境に与える影響を定量的に検討し、その手法の評価を行う。最後に、高温多湿気候下において有効な環境共生手法を提案する。

(2) 実験概要

a) 実験住宅概要

対象となる建物は、インドネシア・スラバヤ工科大学構内に建てられた実験施設である¹⁾。図 4-1 に建物中央断面図と 2 階平面図を示す。1 階はピロティであり、2 階と 3 階は共用空間とその四隅の居室よりなる。

実験住宅には以下のような様々な手法が取り入れられている。

- ① 共用空間をセミオープンスペースとして換気の促進をはかる。
- ② 屋根は、断熱層と空気層を設けたダブルルーフ構造とし、日射熱を効果的に排出する²⁾。
- ③ 屋根には断熱材が貼付されている。(断熱材には現地産材であるココナッツ繊維を用いている。)
- ④ 大屋根により、室内および周壁への日射を遮蔽する。
- ⑤ クロスベンチレーションによって居室での換気を促進する。
- ⑥ 躯体は RC 造、柱梁は一般住宅よりも大きめの寸法となっており、夜間換気による蓄冷効果を高める。
- ⑦ 居室の床に水循環パイプを埋め込み、床冷却によって放射冷房を行う³⁾。冷却水には市水を用い、水循環ポンプの動力には、太陽光発電によって得られた電力を用いる。

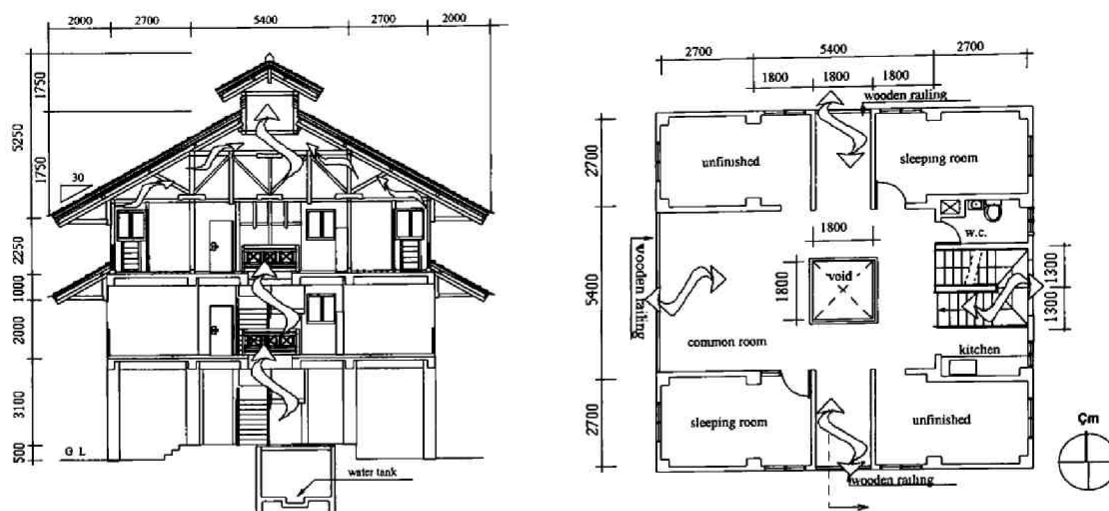


図 4-1 (左) 南北方向への建物中央断面図 (右) 2 階平面図



写真 4-1 実験住宅外観

b) 温熱環境測定概要

測定は、1998 年 7/27～8/7 と 1998 年 12/13～1999 年 1/17 に行われた⁴⁾。1 月の測定は、後半から雨季に入っている。測定は、表 4-1 に示すように、開口部の開閉状態と水循環の運転モードを変えて行われた (ケース 1-A、1-B、2～4)。温湿度の測定にはロガー付き小型温湿度計を用い、壁体表面温度、水温は熱電対を用いて測定した。温湿度の測定個所を図 4-2、図 4-3 に示す。

全天日射量は、3 階北側の直達日射が遮られない位置に日射計を設置して測定した。建物によって遮られた天空成分を考慮して、測定値を直達日射と天空放射に分けた。

表 4-1 開口部と水循環のパターン

		12/13~12/19	12/20~12/26	12/27~1/2	1/3~1/9	1/10~1/16
ケース (運転モード)		1-A	1-B	2	3	4
居室窓の開閉 状態	8:00~17:00	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	OPEN
	夜間 17:00~	CLOSE	CLOSE	OPEN	CLOSE	OPEN
水循環システムの運転		ON	OFF	ON	ON	ON

表 4-2 実験住宅測定箇所

各階共用空間	0.1[m]+FL、1.2[m]+FL での温湿度
2 階、3 階北東側居室	0.1[m]+FL、1.2[m]+FL での温湿度
	床、天井、室内側壁、間仕切り壁、日射受照面の外気側表面温度
2 階、3 階南西側居室	0.1[m]+FL、1.2[m]+FL での温湿度
屋根	瓦表面、通気層空気温度、断熱層上下表面温度。
循環水	タンク供給水、2 階、3 階からの還り水温度

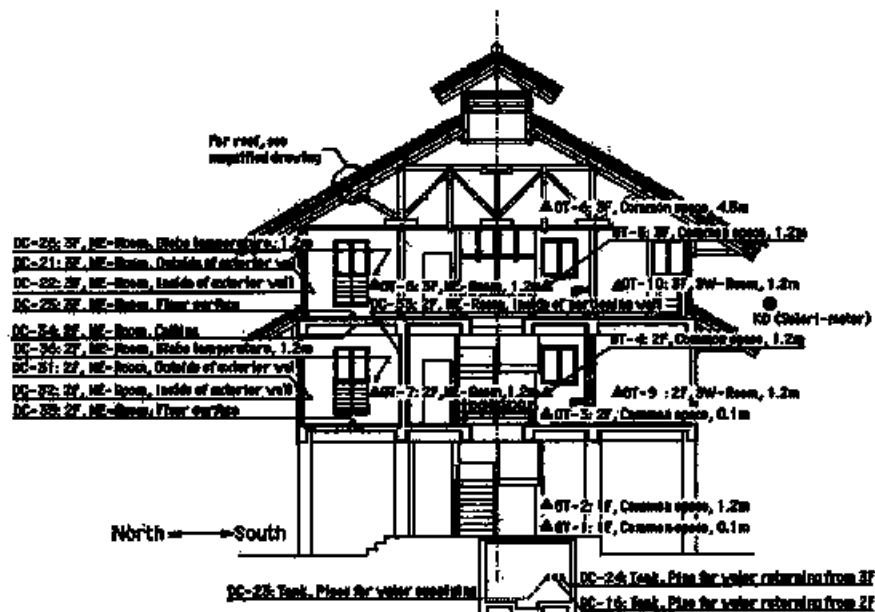


図 4-2 測定点 (建物南北断面図)

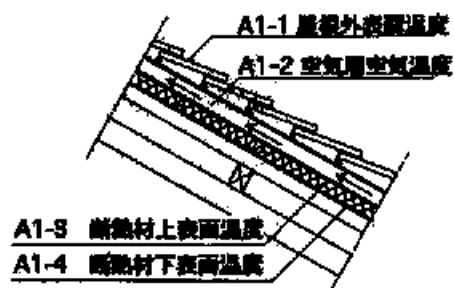


図 4-3 屋根温度測定点 (ダブルルーフ断面図)

(3) 温熱環境実測結果

a) 外部環境

1階共用空間は風通しがよく、床上1.2mでは日射が全くあたらないので、ここでの温湿度を外気の温湿度とみなした。

図4-4に、日中の気温が測定期間中最も高い日であった12月25と26日の外気温湿度を示す。日中の気温は午前6:00から上昇し始め、14:00時頃に32℃まで達している。夕方5時頃に、温度は26℃まで急速に低下している。湿度の増加が同時に見られることから、この時刻に降雨があったと思われる。その後、夜間は26℃前後でほとんど変化しておらず、蒸し暑い夜が続く。床上0.1mの温度は、床上1.2mよりも日変化が小さい。これは、RCスラブの熱容量の影響を受けているためと考えられる。

表4-3に、測定期間中の外気温湿度、相対湿度および全天日射量を示す。湿度および相対湿度は、日最大値、日最小値と平均値を示している。全天日射量は日積算値の最大値、最小値と平均値を示している。日最高気温の測定期間中の平均値は31.3℃であった。日積算全天日射量の平均値は13.5MJ/m²日であった。また、12月22日に日射量は最大値となっている(図4-6)。

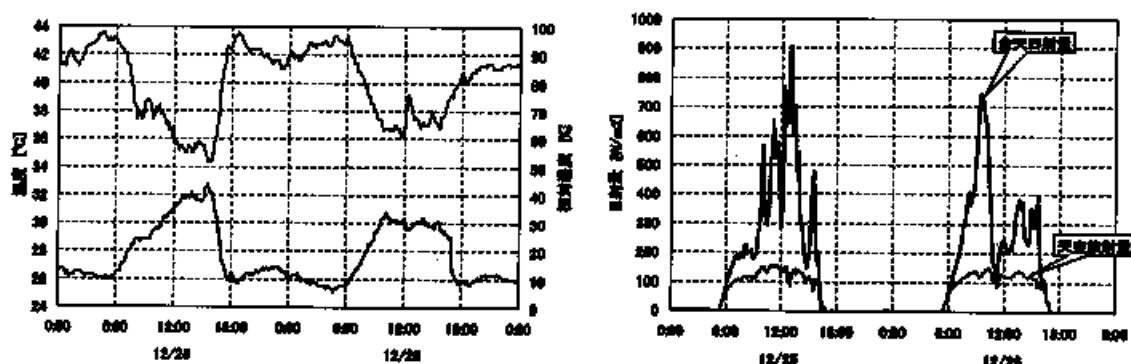


図4-4 外気温湿度と日射量 (左: 1階共用空間の温湿度、右: 全天日射量と天空放射量)

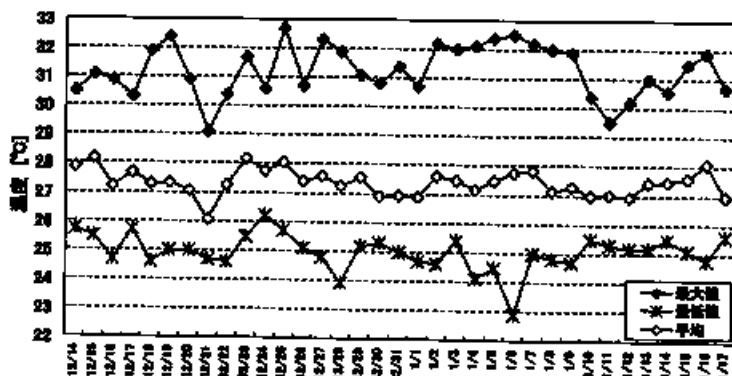


図4-5 外気温湿度の日平均値、最大値、最低値

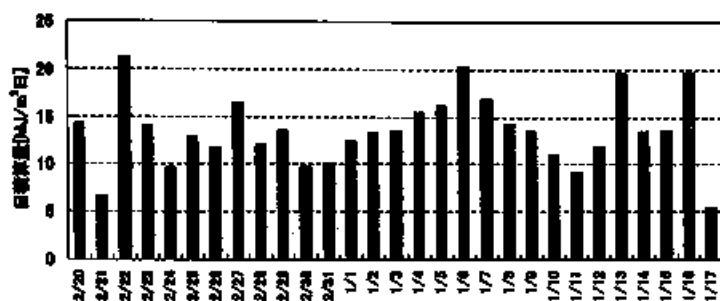


図 4-6 水平面全天日射量の日積算値

表 4-3 外気温度、相対湿度、日射量の平均と標準偏差

	温度[℃] 平均 ± SD	相対湿度[%] 平均 ± SD	日積算日射量 [MJ/m² 日]
日平均値	27.4±0.4	81.4±3.0	13.5±3.7
日最大値	31.3±0.9	96.0±2.8	21.2
日最低値	25.0±0.6	68.2±5.1	5.4

b) 共用空間温湿度

共用空間はセミオープンスペースであり、外部風を積極的に取り入れるような設計となっている。

図 4-7 (左) に、2 階と 3 階の共用空間の温度と相対湿度、図 4-7 (右) に温度と絶対湿度を、外気温湿度 (1 階共用空間温湿度) とともに示す。2 階は床上 1.2m、3 階は床上 4.5m での測定値である。日中、2 階の温度は外気温よりも 1~1.5℃程度低くなっている。2 階共用空間は、天井、床、壁などの熱容量の大きな躯体に囲まれており、温度変化が他に比べ小さくなるためと考えられる。3 階は、外気温度とほぼ同じか、0.5℃程度低くなっている。3 階共用空間の周りにも居室はあるが、それらは木造となっており、また、床上 4.5m の地点での測定値であるため、床からの熱容量の影響も受けにくい。そのため 2 階ほど温度が低く保たれていない。しかし、外気温度よりは低く、屋根による日射遮蔽が効いていると思われる。夜間は 2 階、3 階ともに、外気温よりやや高く温度差が小さい。熱容量が影響していると考えられる。絶対湿度は、2 階共用空間では外気とほぼ同じである。3 階共用空間床上 4.5m での値は、外気や 2 階共用空間と比較すると常に低くなっている。3 階の絶対湿度が低くなっているのは、屋根に使用されている木材とココナッツ繊維を使用した断熱材の吸湿作用の影響かと想像される。

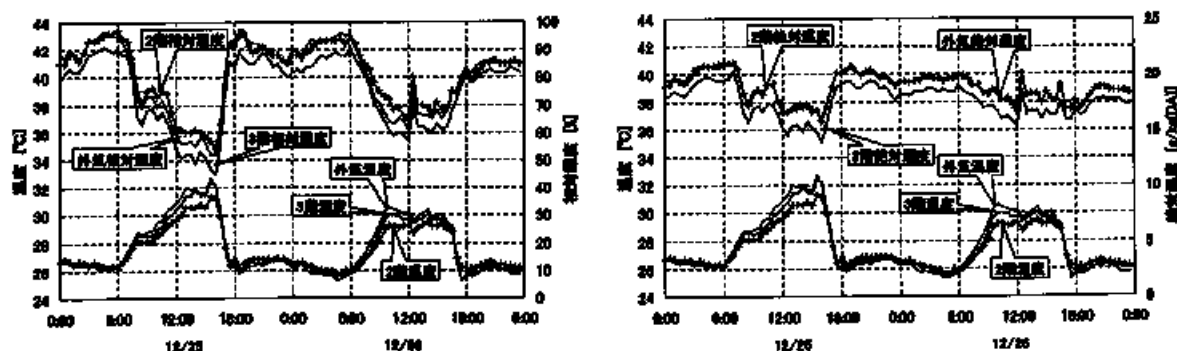


図 4-7 共用空間の温湿度測定結果 (左: 温度と相対湿度、右: 温度と絶対湿度)

c) 循環水温度

2 階および 3 階の居室の床には、水を循環させて床を冷やし放射冷房をするために、水循環用のパイプが埋め込まれている。図 4-8 に、床冷却用の循環水の給水温度と 2 階および 3 階からの還水温度を示す。平均給水温度は 28.4℃である。2 階からの還水温度と 3 階からの還水温度はともに、供給水温度より 0.4℃程度低い。つまり、供給水による床冷却はなされていない。また、図 4-9 に示されるように、床表面温度は天井表面温度や壁表面温度とほとんど同じような変化をしている。一日を通して、床表面温度が循環水温度よりも低く、結果的に夜間換気による床への蓄冷を妨げる形となっている。水循環により床を冷却するには、より低温の水を循環させる必要がある。

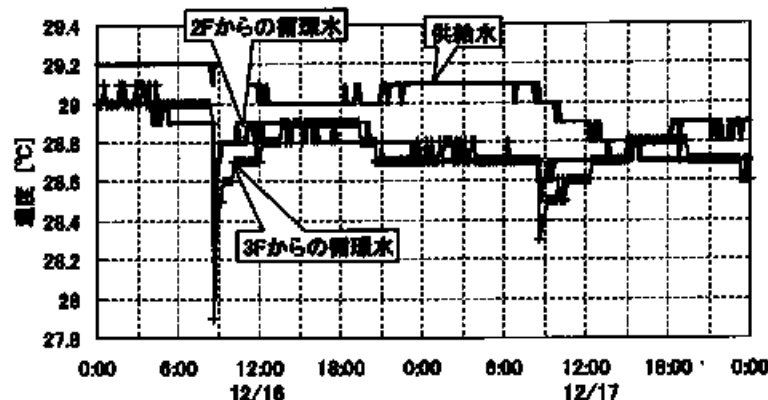


図 4-8 床冷却用の循環水の供給温度と 2 階および 3 階からの還水温度

d) 居室各部温度 (2 階北東室)

図 4-9 に、2 階北東室の床表面、東側壁室内側表面、間仕切り壁表面、天井表面温度と室温を示す。水循環システムは ON であり、開口部は午前 8:00 から午後 17:00 まで開放し夜間は閉じている (ケース 1-A)。

間仕切り壁と天井の表面温度はほぼ同じような変化をしている。日中に開口部を開放し、夜間に閉じた場合は、夜間の壁表面温度は室温とほぼ同じであり、日中は室温よりも 1℃程度低い。日射を受ける外壁の室内側表面 (図 4-9 外壁室内側表面) の温度変化は、天井と間仕切りに比べて大きく、夜間にはゆっくりと低下している。床表面は、午前 8:00 頃に室温、間仕切り壁や天井表面温度より高くなっている。これは、東窓からはいる日射が直接床にあたったことが原因である。

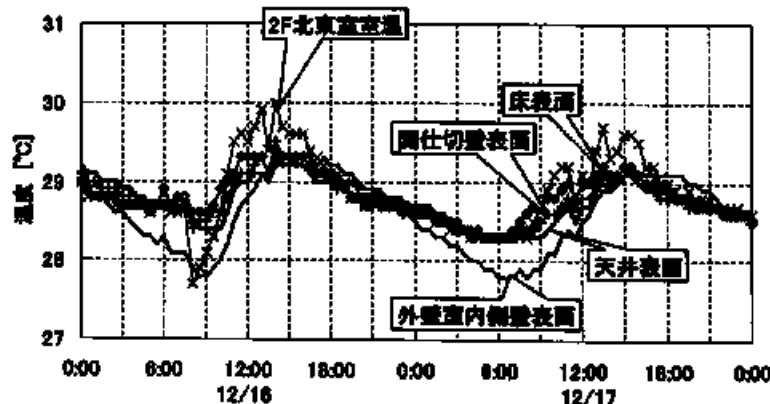


図 4-9 2 階北東室の室温と表面温度 (ケース 1-A、開口部は日中開・夜間閉)

e) 居室温湿度 (2階北東室と南西室)

図 4-10 に 2 階北東室と 2 階南西室の温湿度を示す。図 4-10 (左) は日中に窓を開放し夜間に閉鎖したときの結果 (ケース 1-A) であり、図 4-10 (右) は日中に窓を閉鎖し夜間に開放したときの結果 (ケース 2) である。

どちらの場合も、南西室の日中の室温は北東室よりもやや低い。図 4-10 (左) で、午前 8:00 に窓を開放した時点での温度変化を見ると、北東室では夜間には 29°C 程度で一定であったものが 27.8°C まで一気に下がっている。しかし、南西室では変化がない。これは、窓を開放したことによって外気との換気量が増したためである。実験住宅の北側と東側はオープンスペースとなっており、一方、南側と西側には同じ程度の高さの建物がある。そのために、外気との換気量は北東室の方が南西室よりも多いと考えられる。従って、南西室よりも外気温度に近い値となっている。また、午前中は東から日射が入るので、これもまた室温の上がる原因である。なお、実験住宅の南側と西側には同じ高さの建物があり、夕方には西側の低い角度からの日射は入らない。

開口部が日中に閉じられている場合 (図 4-10 (右)) でも、日中の室温は、換気量がやや大きく、午前中に日射が入る北東室の方が、南西室よりも $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 高くなっている。夜間には、窓を開放しているので、より換気量が多い北東室の方が室温は外気温度に近くなり、躯体への蓄熱量が多くなっていると考えられる。熱容量の影響もあり、日中の室温の上がり方は緩やかである。

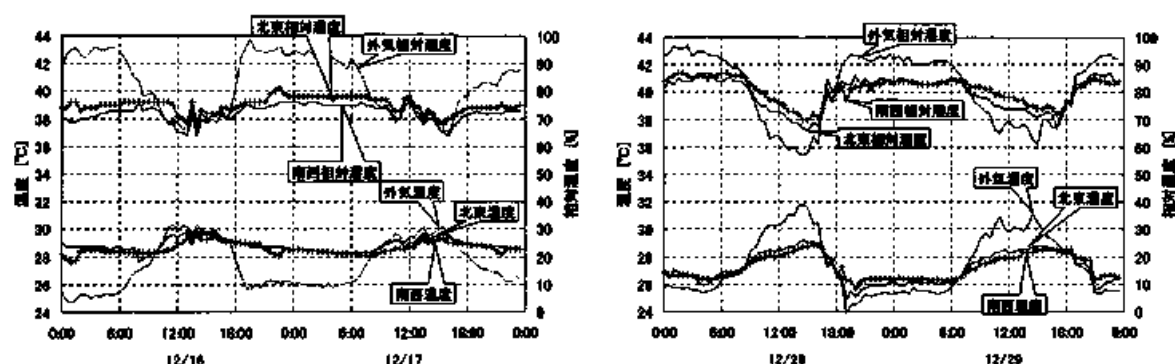


図 4-10 2 階北東室と南西室の温湿度 (左: ケース 1-A、右: ケース 2)

f) 居室温湿度 (2 階と 3 階の比較) : 開口部の開閉状態を変えた場合の結果

図 4-11 に 2 階と 3 階北東室床上 1.2m での温湿度を示す。2 階、3 階の居室ともに、(a) は日中に開口部を開け夜間に閉じた場合 (ケース 1-A) の、(b) は日中に開口部を閉じ夜間に開けた場合 (ケース 2) の、(c) は開口部を終日閉じた場合 (ケース 3) の、(d) は開口部を終日開いた場合 (ケース 4) の結果である。

日中に開口部を閉じた場合の (b) と (c) では、外気温度が 31.0℃を超えているにもかかわらず、2 階北東室の室温が 29℃程度になっている。それに対し、3 階は外気と同じように変化している。3 階には天井がなく、壁の上部が開口となっているため、開口部を閉じた場合でも外気との換気が行われる。そのため、2 階では室温が低く保たれているが、3 階は外気温度よりもやや低い程度で、ほとんど外気温度と同じような変化をしている。

表 4-4 に、ケース 1~4 の室温および外気温度の平均値、最高値、最低値を示す (5 日間の平均)。ケース 2 のみ、2 階の平均温度が平均外気温度よりも低くなっている。このときの 3 階の平均室温は、外気温度とほぼ同じである。そのほかの時期 (表 4-4 ケース 1、ケース 3、ケース 4) では、平均室温は平均の外気温度よりも高い。ケース 1 では外気温度よりも 1.5℃高く、ケース 3 では 1℃、ケース 4 では 0.2℃高くなっている (表 4-4)。外気温度が高くなる日中には、外気との換気を少なくすることによって、室温を低く保てることが分かる。

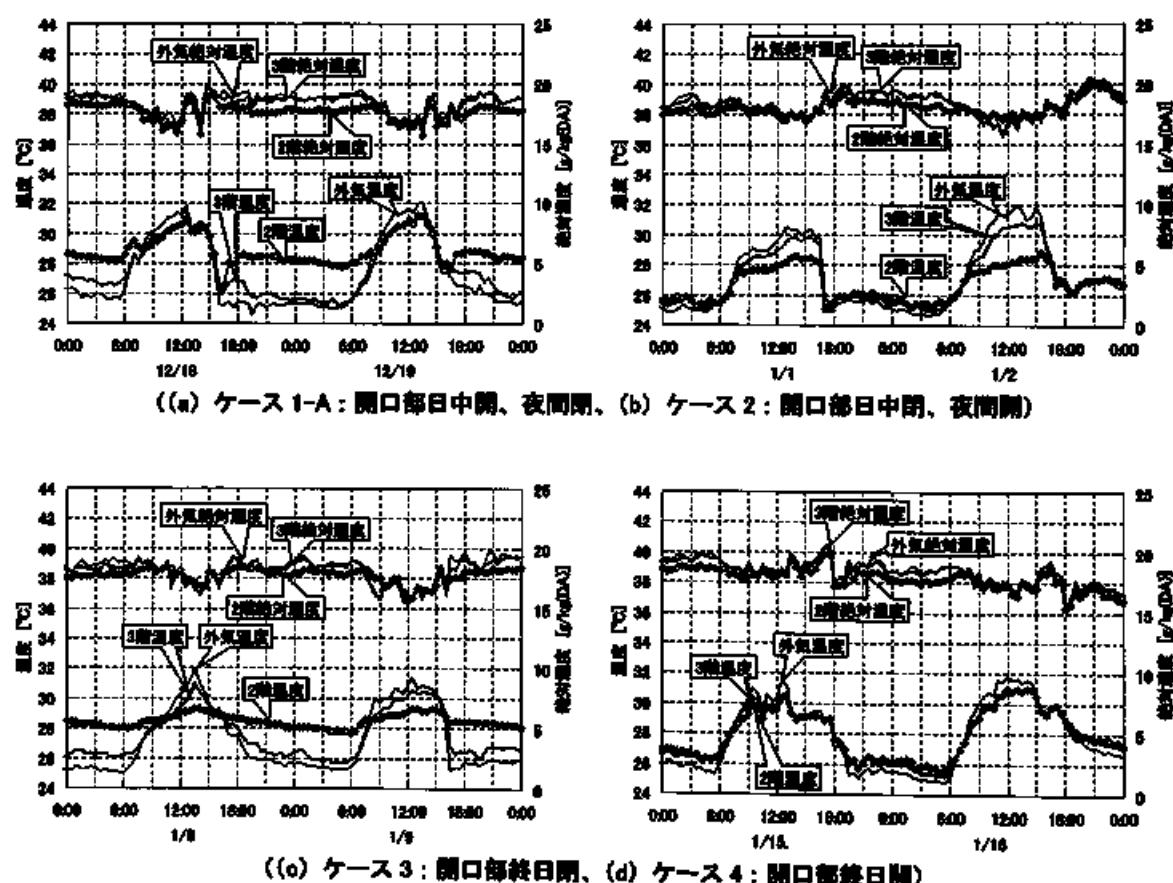


図 4-11 開口部の開閉状態を変えて行った実験の結果

日中の絶対湿度にはあまり違いが見られず、1階共用空間と同じような変化をしている。夜間は開口部の開閉状態に依らず、2階の北東室の絶対湿度がやや低くなっている。2階は、壁、床、天井ともにコンクリートで囲まれており、夜間には日中よりも室温が下がることで相対湿度が上がり、壁などが吸湿したことが考えられる。湿度の挙動に関しては、さらなる考察が必要である。

表 4-4 各ケースにおける温度の平均値・最高値・最低値

		平均（終日）	平均（日中）	平均（夜間）	最高（日中）	最低（夜間）
ケース 1	外気	27.5	29.7	26.3	32.4	24.6
	2 階	29.0 [+1.5]	29.5 [-0.2]	28.7 [+2.4]	31.3 [-1.1]	27.7 [+3.1]
	3 階	27.9 [+0.4]	29.4 [-0.3]	26.9 [+0.6]	31.5 [-0.9]	25.2 [+0.6]
ケース 2	外気	27.2	29.4	25.9	32.2	24.6
	2 階	27.0 [-0.2]	28.1 [-1.3]	26.3 [+0.4]	28.9 [-3.8]	25.1 [+0.6]
	3 階	27.2 [0.0]	29.0 [-0.4]	26.2 [+0.3]	31.1 [-1.1]	24.9 [+0.3]
ケース 3	外気	27.5	30.0	26.0	32.5	23.8
	2 階	28.5 [+1.0]	29.0 [-1.0]	28.0 [+2.0]	29.9 [-2.6]	28.2 [+4.8]
	3 階	27.8 [+0.3]	29.6 [-0.4]	26.7 [+0.7]	31.4 [-1.1]	26.7 [+2.9]
ケース 4	外気	27.5	29.6	26.3	31.9	24.8
	2 階	27.7 [+0.2]	29.1 [-0.5]	26.8 [+0.5]	31.1 [-0.8]	25.5 [+0.7]
	3 階	27.7 [+0.2]	29.1 [-0.5]	26.9 [+0.1]	31.2 [-0.7]	25.2 [+0.4]

(4) 建物内外の気流解析

a) スラバヤの年平均風速

スラバヤ南部 (Juanda) での月平均風速を表 4-5 に、時刻別の無風割合を図 4-12 に示す。スラバヤでは、東側に海があるために、東西方向の季節風が卓越している。月平均風速は 3~3.5m/s 程度である。雨期に風速が弱く、8~11 月にやや強くなっている。実験を行った 12 月から 1 月にかけては 3m/s 程度の外部風が得られている。

午前 9:00~15:00 には風があるが、夜間 21:00 から朝にかけて無風の割合が多くなっている (図 4-12)。12 月から 1 月においては、日中は 3m/s 程度の風速が得られるが、夜間は日中の半分程度となる。Juanda は周辺に建物のない場所であるため、実験住宅の外部風は Juanda で観測された値よりも小さいと考えられる。

想定される外部風より、流体解析ソフト「STREAM」^①を用い、外部風の風速・風向を変化させた場合の室内気流性状を解析し、換気量を決定する。

表 4-5 月平均風速 (平年値、Juanda)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
風速 [m/s]	3.1	3.1	3.1	3.1	3.6	3.6	3.6	4.6	4.6	4.1	3.6	3.1

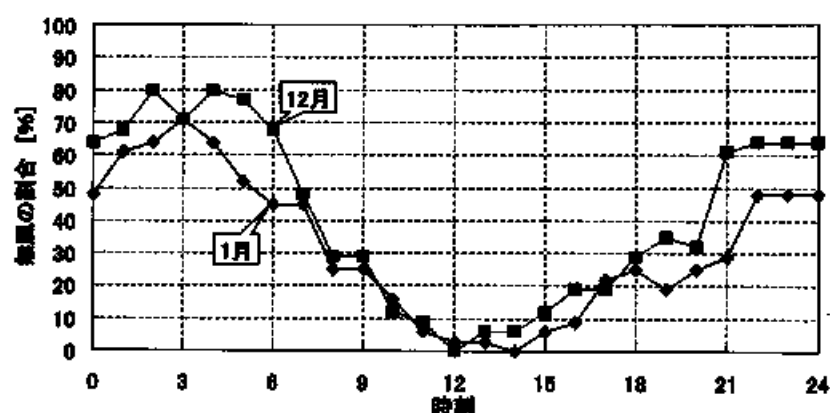


図 4-12 無風の割合 (2001 年、Juanda)

b) 気流解析

解析は流体解析ソフト「STREAM」を用いて行った。計算領域は、基本的には当該建物を含む東西方向 (X 方向) 70m、南北方向 (Y 方向) 40m、高さ方向 (Z 方向) 30m の範囲とし、風向によって東西方向あるいは南北方向の解析範囲を変化させた。風速を 0~3.5m/s と変化させた場合の解析と、風向を変化させて、室内の気流分布を解析した。表 4-6 に数値解析モデルと解析条件を示す。

表 4-6 数値解析モデルと解析条件

乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ モデル
壁面応力条件	対数則
移流条件	風上差分
流入条件	0~3.5m/s の風速を与える
流出条件	自然流出
境界条件	フリースリップ境界
地面および建物での境界条件	対数則

c) 室内気流分布の解析結果

外部風の風向が室内風速に与える影響を調べるために、風向を変化させて室内風速を求めた。東側から 1.5m/s の風が流入する場合の 2 階床上 1.2m での風向風速分布を図 4-13、図 4-14 に示す。また南側から風が吹いた場合の結果を図 4-15、図 4-16 に示す。

東側から 1.5m/s の風がある場合には、東側開口部から共用空間へ入った風は、ほとんどが西側開口部から外部へ流れる。東側居室の開口部から入った風は、居室の扉から共用空間に流出している。室内風速は、風上側の東側居室では 0.6~1.0m/s 程度であるのに対して、風下にあたる西側居室では 0.2m/s 以下となっている。東西から風がある場合には、風下側と風上側の居室で得られる風速が大きく変わっている。

南側から風がある場合には、居室および共用空間の南側から入った風はそのまま北側の開口部へ抜けている。風上側居室では窓扉付近で 1.5m/s 程度の風速があり、風下側でも 1.0m/s の風速となっているが、居室中央部では無風である。

実際に、実験住宅内で行われた測定結果によれば⁶⁾、2 階北東室では 0.25m/s 程度の風速が常に得られており、3 階北東室では 0.5~3.0m/s の風速が得られている。

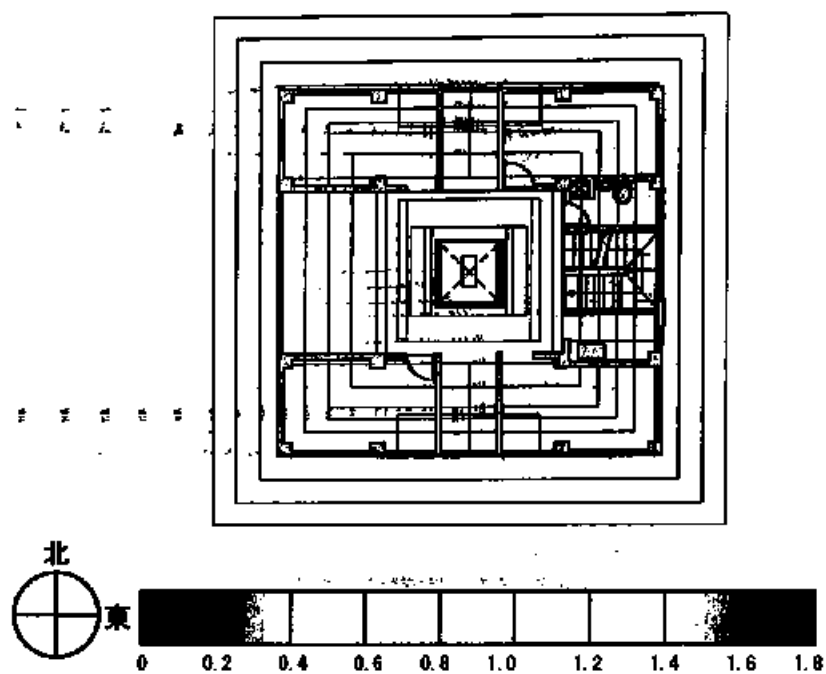


図 4-13 東側から 1.5m/s の風がある場合の室内風速風向分布（水平断面 1.2m+2FL）

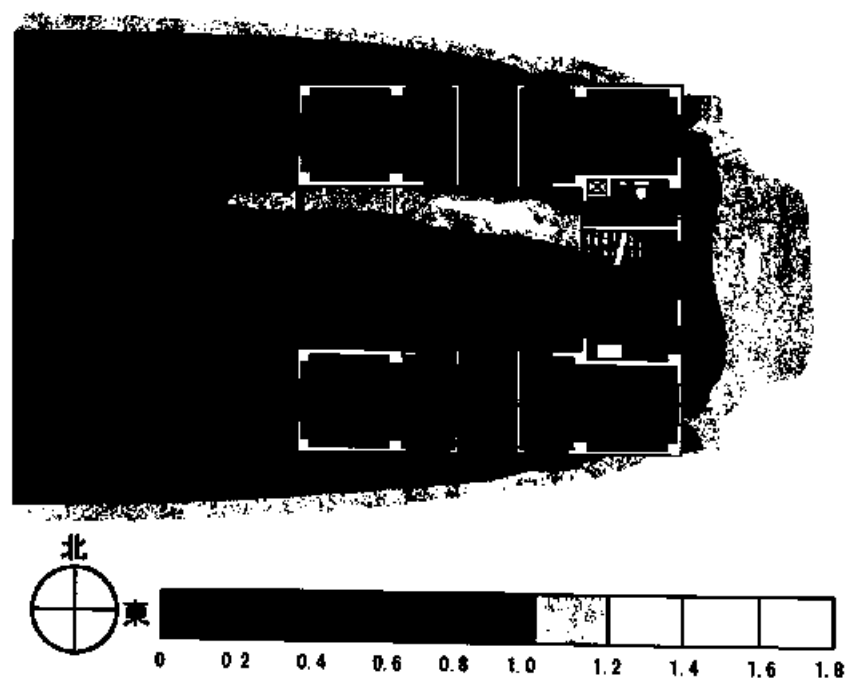


図 4-14 東側から 1.5m/s の風がある場合の室内外風速分布（水平断面 1.2m+2FL）

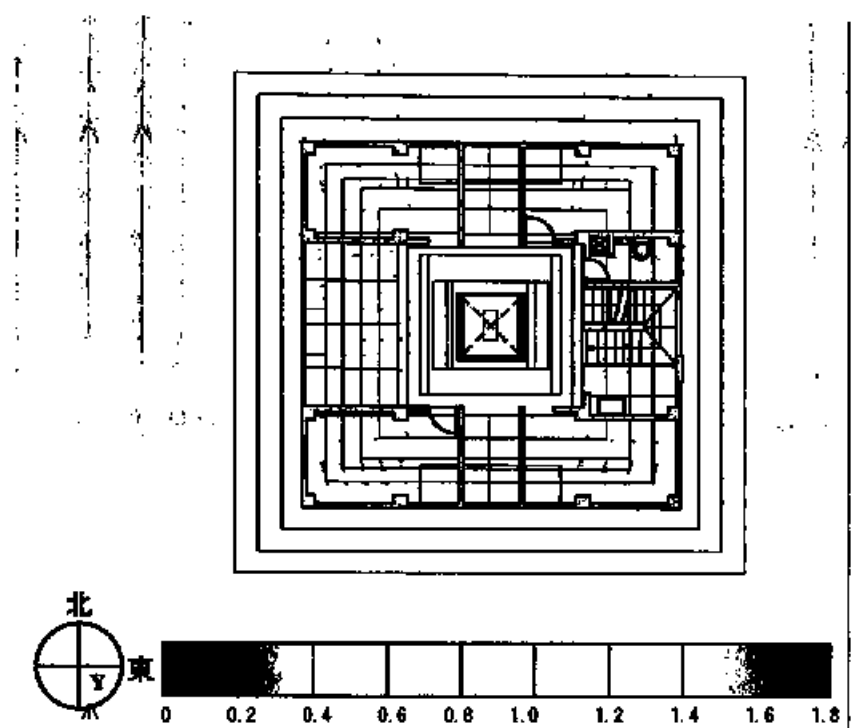


図 4-15 南側から 1.5m/s の風がある場合の室内風向風速分布（水平断面 1.2m+2FL）

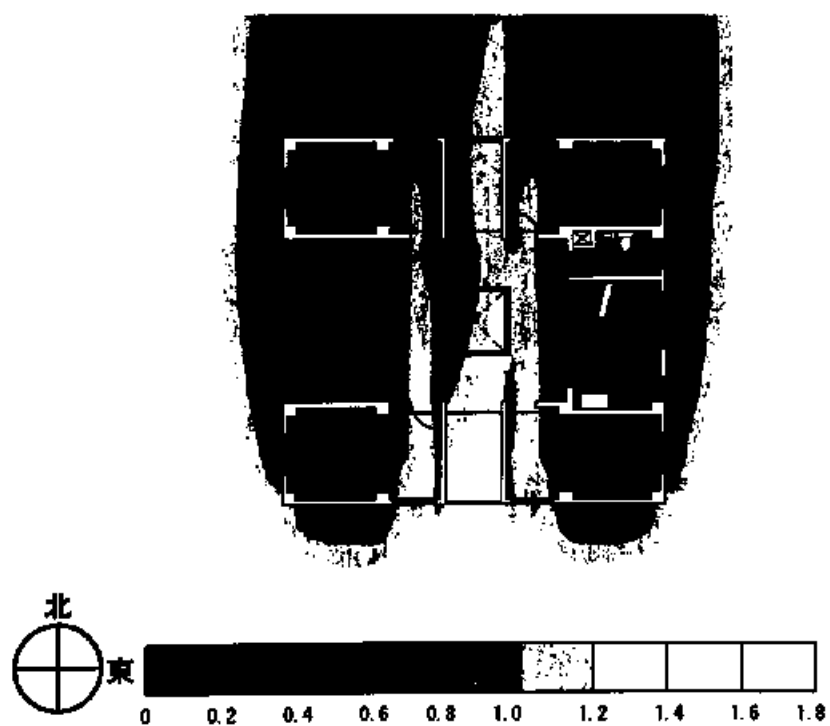


図 4-16 南側から 1.5m/s の風がある場合の室内風速分布（水平断面 1.2m+2FL）

d) 外部風速の影響

外部風速と室内風速の関係を調べるために、東側から $0.5 \sim 2.0 \text{ m/s}$ の風速がある場合の建物内外の気流の解析を行った。図 4-17 に外部風速と室内風速の関係を、図 4-18 に風速と通風率（室内風速/が産風速[-]）の関係を示す。東側から風速を与えているため、南西室と北西室は風下となる。

風上側居室では外部風速が増すにつれて室内風速は大きくなっている。風下側居室では外部風速が $1 \sim 2 \text{ m/s}$ ではほとんど変化がない。通風率を見ると、風上側居室では常に 0.4 以上であるが、風下側では 0.1 前後となる。スラバヤの年平均風速が 3 m/s であり、実験住宅周辺でも 1.5 m/s 程度の風速が得られることを考えると、風上側居室では $0.7 \sim 0.8 \text{ m/s}$ 、風下側居室では $0.1 \sim 0.2 \text{ m/s}$ 程度の風速が得られると推定される。

居室の開口部（面積 1.8 m^2 ）から平均して風速 0.5 m/s の風が流入する場合、東側の開口部から室内への流量は約 3600 m^3 であり、換気回数にすると 100 回/h である。風向がランダムに変わる場合、共用空間と外気の両方に対して換気が行われるので、開口部が開いている場合はともに 50 回/h 程度の換気回数があると考えられる。また、夜間には外部の平均風速が日中の半分にまで下がるので、換気量も半分程度まで減少すると考えられる。

開口部を閉めている場合、解析では室内風速はほぼ 0 である。しかし、実験住宅の窓はがらりになっているため、扉を閉じていても多少の漏気があると考えられ、従って、扉を閉めている場合の 10 分の 1 程度の換気量があると考えられる。

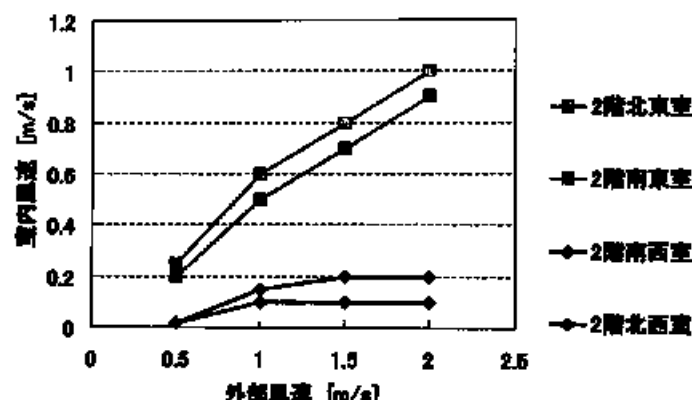


図 4-17 外部風速と室内風速の関係

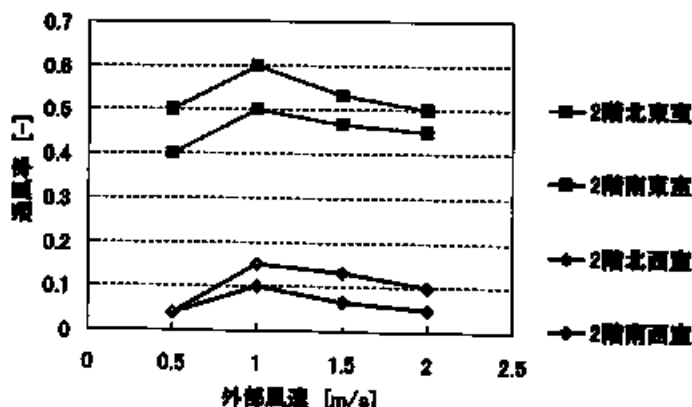


図 4-18 外部風速と通風率の関係

(5) 室内温湿度解析

a) 温湿度解析概要

実験住宅に導入された環境調整技術の評価と、環境調整技術を用いた場合の実験住宅室内での温熱環境の評価のために、室温、平均放射温度（MRT）およびPMVを、2階北東室を対象として計算した。壁、床、天井については、一次元熱伝導方程式を解いた。外気には1階共用空間床上1.2mでの温湿度を用いた。日射量については、天空の形態係数を考慮して、全天日射量の実測値を天空放射と直達日射に分離し、それらを用いて各壁面にあたる日射量を算出した。図4-4および図4-6に解析に用いた外気温湿度と日射量を示す。外気との換気量は実測値との一致が得られるように値を定め、日中、夜間にそれぞれ一定の換気回数を与えた（表4-7）。開口部を下開けている場合は、日中は50回/h、夜間は25回/hとし、開口部を閉じている場合はそれぞれ5回/h、2回/hとした。

PMVの算定においては、代謝量を58.2W/m²、仕事量を0、人体周りでの風速を0から0.5m/sまで変化させた。スラブや南部では外部風速が日中には3m/s程度得られている。開口部を開けた場合、2階北東室では外部風の0.6倍程度（東からの場合）、0.2程度（西からの場合）の風速が得られている。人体周りの風速については0.3m/s程度が得られると考えられる。

換気回数など不確定要因の影響をできるだけ小さくし、解析の精度を確認するため、計算には日開口部を閉じた場合の実測値を用いた。

表4-7 計算に用いた開口パターンにおける換気回数

換気回数	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
日中 午前5:30-17:30 [回/h]	OPEN 50	CLOSE 5	CLOSE 5	OPEN 50
夜間 17:30-午前5:30 [回/h]	CLOSE 2	OPEN 25	CLOSE 2	OPEN 25

室内温湿度の算出

2階北東室室温の算出のために、室内への熱流を算定した。流入熱として、①外壁・間仕切り壁・天井を通しての貫流熱、②外部との換気（漏気）により流入する熱、③共用空間との換気により流入する熱、④窓からの日射熱、を考慮する。

室空気の熱収支式：

$$c\gamma V_{room} \frac{\partial T}{\partial t} = Q_{wall} + Q_{ventilation(outside)} + Q_{ventilation(common)} + Q_{solar}$$

室内へ流入する熱量：

① 壁表面からの流入熱： Q_{wall}

$$Q_{wall} = \alpha(T_{wallsurface} - T_{room}) \cdot A_{wall}$$

② 外部との換気（漏気）により流入する熱： $Q_{ventilation(outside)}$

$$Q_{ventilation(outside)} = (n/3600) V_{room} (T_{outside} - T_{room})$$

- ③ 室間の換気により流入する熱： $Q_{\text{ventilation(common)}}$

$$Q_{\text{ventilation(common)}} = (n/3600)V_{\text{room}}(T_{\text{common}} - T_{\text{room}})$$

- ④ 開口部を通して流入する日射： Q_{solar}

$$Q_{\text{solar}} = A_{\text{window}} \cdot SC \cdot J_{\text{solar}}$$

2 階北東室の室内絶対湿度の算出には、外部および共用空間との換気（漏気）により流入する水分量を考慮する。

室空気の水分収支式：

$$\rho V_{\text{room}} \frac{\partial X}{\partial t} = Q_{x\text{ventilation(outside)}} + Q_{x\text{ventilation(common)}}$$

室内へ流入する水分量：

- ⑤ 外気との換気により流入する熱： $Q_{\text{ventilation(outside)}}$

$$Q_{\text{ventilation(outside)}} = (n/3600)V_{\text{room}}(X_{\text{outside}} - X_{\text{room}}) \cdot \rho$$

- ⑥ 室間の換気により流入する熱： $Q_{\text{ventilation(common)}}$

$$Q_{\text{ventilation(common)}} = (n/3600)V_{\text{room}}(X_{\text{common}} - X_{\text{room}}) \cdot \rho$$

Q : 熱流 [W] (添え字は、*wall* : 壁表面から室内へ、
ventilation(outside) : 外気との換気、*ventilation(common)* : 共用空間との換気、
solar : 開口部を通しての射入日射、を表す。)

Q_{sum} : 室内に流入する熱流の合計 [W]

Q_x : 水分流 [kg/s] (添え字は、*ventilation(outside)* : 外気との換気、
ventilation(common) : 共用空間との換気、を表す。)

$Q_{x\text{sum}}$: 室内に流入する水分流の合計 [kg/s]

T : 温度 [°C] (添え字は、*room* : 解析対象室、*common* : 共用空間、*outside* : 外気、
wallsurface : 壁室内側表面を表す。)

X : 絶対湿度 [kg/kg(DA)] (添え字は、*room* : 解析対象室、*common* : 共用空間、
outside : 外気、を表す。)

A : 壁面積 [m²] (添え字は、*wall* : 壁、*window* : 窓)

V_{room} : 室容積 [m³]

α : 熱伝達率 [W/m²K]

SC : 日射遮蔽係数 [-]

J_{solar} : 日射量 [W/m²]

n : 換気（漏気）回数 [回/h]

c_p : 容積比熱 [J/m³K]

ρ : 空気の比重 [kg(DA)/m³]

平均放射温度の算出

開放的な建物では、人体周りの気温、湿度、風速に加え、窓から入射する日射などの放射熱も人体の熱負荷となる。ここでは、室内壁面からの長波放射、窓から見える対向壁（又は地面）からの長波放射、直達日射、天空放射、大気放射、そして、対向壁や地面からの反射日射を考慮し、人体に入射する放射熱を算定し、平均放射温度（MRT）⁷⁾を求めた。

- ① 対向壁からの長波放射： Q_w

$$Q_w = A_{human} \cdot \varepsilon \cdot \sigma T^4 F$$

- ② 直達日射： Q_{jd}

人体を球とみなした場合、直達日射を受ける面の投影面積は表面積の1/4となる。

$$Q_{jd} = \frac{A_{human}}{4} \cdot a_{human} \cdot J_d$$

- ③ 反射日射： Q_{jref}

$$Q_{jref} = A_{human} \cdot a_{human} \cdot J_{SW} (1-a) F$$

- ④ 天空放射（短波成分）： Q_S

$$Q_S = A_{human} \cdot a_{human} \cdot J_{sh}$$

- ⑤ 大気放射（長波成分）： Q_L

$$Q_L = A_{human} \cdot \varepsilon \cdot \sigma T_o^4 \left(0.526 + 0.075 \sqrt{1.2 X_o} \right) F$$

平均放射温度： MRT

$$MRT = \left(\frac{Q_w + Q_{jd} + Q_{jref} + Q_S + Q_L}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} - 273.16$$

T : 壁表面温度 [K]

A_{human} : 人体表面積 (=1.8 [m²])

T_o : 外気温度 [K]

X_o : 外気絶対湿度 [kg/kg(DA)]

J_{SW} : 外壁面が受ける日射量 [W/m²]

J_d : 直達日射量 [W/m²]

J_{sh} : 天空放射量 [W/m²]

ε : 人体表面の長波吸収率 [-]

a_{human} : 人体面での短波吸収率 [-]

a_{wall} : 外壁面での日射吸収率 [-]

F : 形態係数 [-]

σ : 完全黒体の放射定数 [W/m²K⁴] (=5.66×10⁻⁸)

PMV の算定

室内の状態を評価する指標として、本論文では PMV⁽⁹⁾ を用いる。算出式を以下に示す。

① 人体発熱量: Q_{pro} [W/m²]

$$Q_{pro} = M - W$$

M : 代謝量 (=58.2 [W/m²])

W : 人体が外部に対して行う仕事 [W/m²]。ここでは 0 とする。

② 対流、放射、伝導によって放散される熱量

$$Q_{arc} = f_d f_e \varepsilon_d h_{rb} \left((t_d + 273.16)^4 - (t_{rm} + 273.16)^4 \right) + f_d h_c (t_d - t_a)$$

t_d : 着衣の表面温度 [°C]

f_d : 着衣時の人体表面積/裸体の体表面積

$I_d < 0.5$ のとき、 $f_d = 1 + 0.2 I_d$

$0.5 \leq I_d$ のとき、 $f_d = 1.05 + 0.1 I_d$

f_e : 放射に有効な体表面積率 (=0.17)

ε_d : 着衣表面の長波放射率 (=0.97)

t_{rm} : 平均放射温度 [°C]

h_{rb} : 黒体表面の放射熱伝達率 [W/m²K]

h_c : 人体表面の対流熱伝達率 (=0.6 [W/m²K])

③ 呼吸によって環境に放散される熱量: Q_{res} [W/m²]

$$Q_{res} = M \{ 0.0173 \cdot (5.87 - P_a) + 0.0014 \cdot (34 - t_a) \}$$

P_a : 人体周辺空気の水蒸気分圧 [Pa]

t_a : 人体周辺空気の温度 [°C]

④ 蒸発によって放散される熱量: Q_{evap} [W/m²]

$$Q_{evap} = 3.05 (5.73 - 0.007 \cdot Q_{pro} - P_a)$$

⑤ 発汗による蒸発放散熱量: Q_{per} [W/m²]

$$Q_{per} = 0.42 (Q_{pro} - 58.15) \geq 0$$

これらを用いて、人体の熱負荷 Q_{load} を求めると、次式となる。

$$Q_{load} = Q_{pro} - (Q_{res} + Q_{evap} + Q_{arc} + Q_{per})$$

また、この値を用いて PMV (予想平均申告値) を求めると、次式となる。

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028] Q_{load}$$

b) 解析結果と実測値との比較

図 4-19 に、ケース 3 とケース 4 における、2 階居室の温湿度の測定値と解析値を比較する。

ケース 4 については、1 月 15 日の 18:00 から 20:00 における温度低下を、解析では十分には再現できていない。ここでは、換気回数を外気と共用空間ともに 2 回/h ずつとしているが、この時点ではそれよりも大きい換気回数であったのではないかと推定される。また、ケース 4 での 1 月 16 日の日中の室温は、実測値よりもやや低くなっている。この時点での換気回数は、50 回/h 以上と想定される。それ以外の部分においては、ケース 3、4 ともに解析結果は温度の実測値をよく再現できている。

相対湿度に関しては、ケース 4 ではほぼ再現されているものの、ケース 3 では、日中にはやや低く、夜間には 10% 程度高い値となっている。壁体などによる吸放湿を考慮していないため、換気による水蒸気の流出・流入の影響が相対的に小さい終日閉鎖のパターン（ケース 3）では、湿度が再現できない結果となったものと考えられる。高温多湿気候下では、湿度は快適性に対して大きな影響を与えると考えられ、今後十分な検討が必要であり。湿度が PMV 値に与える影響は少なからずある。ただ、温度を考慮することで温熱環境の大略の評価が可能であること、PMV は評価ツールの一部であることから、本解析プログラムを用いて室内の温熱環境評価を行うこととした。

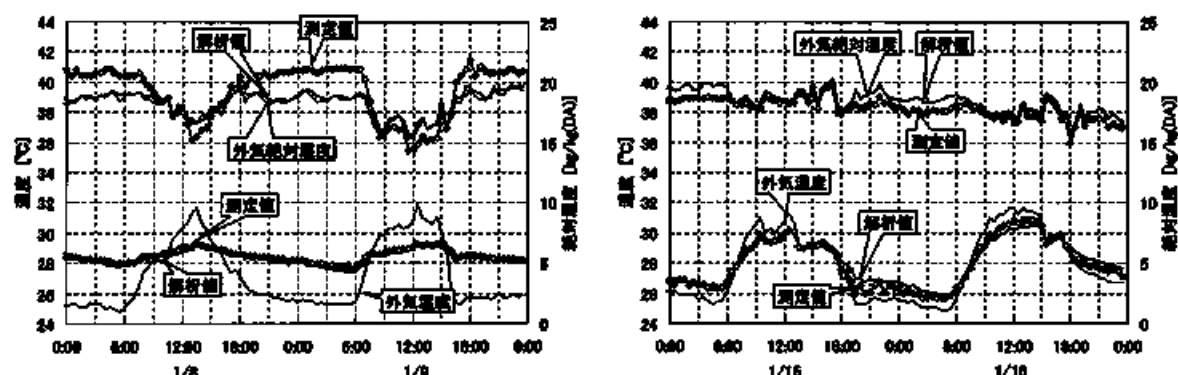


図 4-19 室温と相対湿度の解析結果と実測値の比較（左：ケース 3（終日閉鎖）、右：ケース 4（終日開放））

c) 各種パラメータが温熱環境におよぼす影響

開口部の開閉状態を変えた場合の結果

高温多湿気候にあるインドネシアでは、日中には窓をあけ、夜間に閉じるというライフスタイルが通常である。開口部の開閉パターンと室内温熱環境の関係について調べるために、(1)の解析モデルを用いて室内温湿度、PMVなどを算定した。開閉パターンに対応させて換気回数を表4-7に示すように設定した。外界気象条件としては、1999年12月22日から28日の測定値を用いた。平均放射温度は、室内中心における値としている。PMVの計算においては、代謝量を $58.2\text{W}/\text{m}^2$ (1met)、仕事量は0とした。

室温と平均放射温度の解析結果を図4-20および図4-21に示す。図4-22に人体周りの風速が $0.3\text{m}/\text{s}$ の場合と $0.5\text{m}/\text{s}$ の場合のPMVを示す。室温、平均放射温度、PMVの平均値、最高値、最小値を日中と夜間に分けて、表4-8に示す。

日中の最高室温は、ケース1の場合は 30.5°C 、ケース2では 29.2°C 、ケース3では 29.5°C であった(表4-8)。日中に開口部を開けて通風を行うケース1では、最高室温が 30°C を超えているが、日中に閉じる場合は 0.96°C 低い値となった(ケース3)。さらに、夜間に開口部を開け夜間換気を行えば、日中の最高室温はケース1より 1.33°C 低くなる。平均放射温度にも違いが生じ、ケース1では最高値が 30.7°C であるのに対して、ケース3では 0.44°C 低く、ケース2では 1.28°C 低くなっている。これは、室温の低下に伴い、室内の壁表面温度が下がることによる。ただ、平均放射温度は日射の影響も受ける。どのケースにおいても窓ガラスを通して日射が室内に射入しており、そのために平均放射温度が上昇している。

表4-9にPMVの平均値、最大値、最小値を示す。ケース1では、PMVは1~1.5、つまり「やや暖かい」から「暖かい」の範囲にある。無風の場合には最大値は1.73となる。それに対して、ケース3では最大値は1.45となっており、ケース1よりも環境がやや改善されている。夜間換気を行うケース2では、日中の室温と平均放射温度が低くなるために、日中の平均PMVは無風の場合でも1.07となる。つまり、夜間換気を行うことによって、夜間のみならず日中の室内環境を良好に保つことができるといえよう。

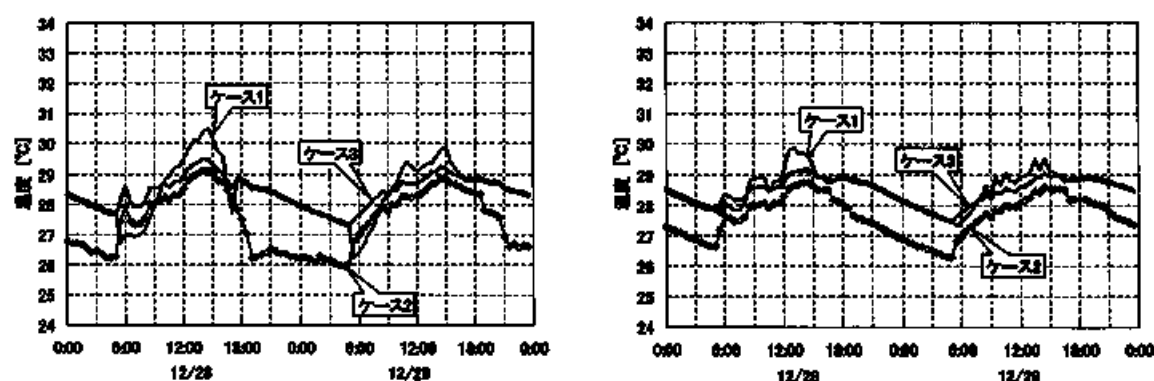


図4-20 ケース1、2、3の解析結果 (左：室温、右：平均放射温度)

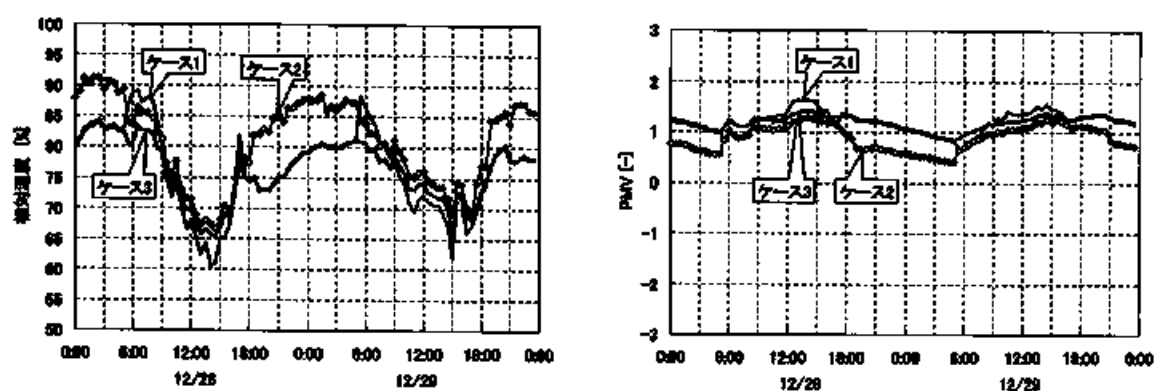


図 4-21 ケース 1、2、3 の解析結果 (左：相対湿度、右：PMV (無風の場合))

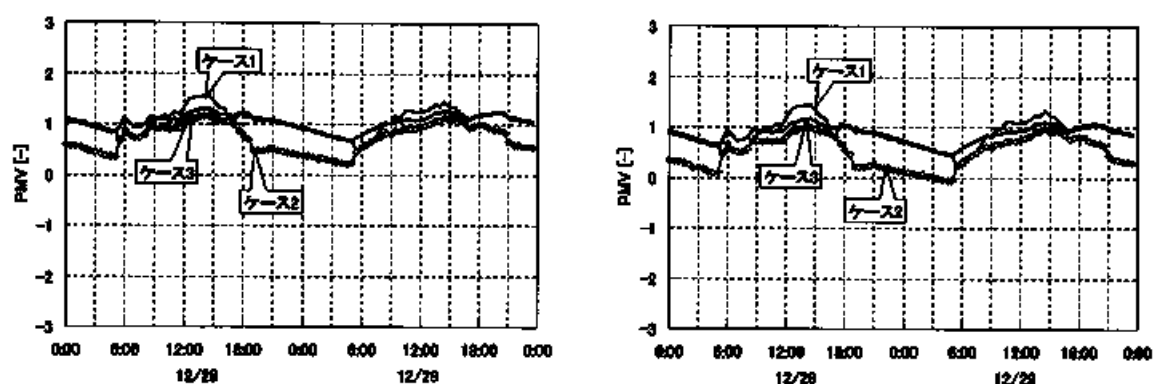


図 4-22 ケース 1、2、3 の解析結果 (PMV) (左：風速 0.3m/s のとき、右：0.5m/s)

表 4-8 平均気温、平均放射温度、平均 PMV (PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した)

	平均室温		平均の平均放射温度		平均の PMV			
					風速 0 m/s		風速 0.3 m/s	
	日中	夜間	日中	夜間	日中	夜間	日中	夜間
ケース 1	28.66	28.22	28.75	28.38	1.27	1.16	1.14	1.02
ケース 2	28.21	26.65	28.05	27.23	1.07	0.71	0.93	0.53
ケース 3	28.67	28.15	28.60	28.32	1.24	1.14	1.11	1.00

表 4-9 室温、平均放射温度、PMV の最大値と最小値 (PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した)

	室温		平均放射温度		PMV			
					風速 0 m/s		風速 0.3 m/s	
	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 1	30.49	26.22	30.07	27.33	1.73	0.67	1.66	0.47
ケース 2	29.16	25.95	28.79	26.28	1.31	0.42	1.20	0.22
ケース 3	29.53	27.30	29.23	27.44	1.45	0.83	1.35	0.67

日射遮蔽を行った場合

仮に窓を閉めていたとしても、窓面に当たった日射の約80%は窓ガラスを通して室内に入ってくる。室温や平均放射温度の上昇には、天空放射や反射日射などの日射成分が大きな影響をおよぼしている。室内に射入する日射の量を減らすためには、ブラインドなどを用いる必要がある。ケース5では、ブラインドによって室内に射入する日射量を80%カットできると想定した解析を行った。その結果を図4-23、図4-24、表4-10および表4-11に示す。

図4-23に示すように、平均室温は、ケース2の場合とさほど変わらないが、直達日射が室内に射入する午前6:00前後の温度は、ケース2よりも低くなっている。実験住宅では、軒が深くなっているために、ほぼ一日中、直達日射は室内に射入しない。そのため、室温上昇を抑えることに関してはブラインドの効果は大きくはないが、水平に近い方向から入射する朝夕の日射に対しては、ブラインドが効果を発揮している。また、ブラインドを用いることによって平均放射温度は大きく低下している。ブラインドを用いて、人体にあたる天空日射や地面からの反射日射を減らすことによって、たとえばケース2と比較するとケース5では平均の平均放射温度が0.43℃低くなる。結果として、平均のPMVはケース2よりも0.11低下することになる。もし、何らかの方法で開口を開けることなく0.3m/s程度の室内風速が得られるとすれば、日中の平均PMVは1を下回り、かなり改善される。

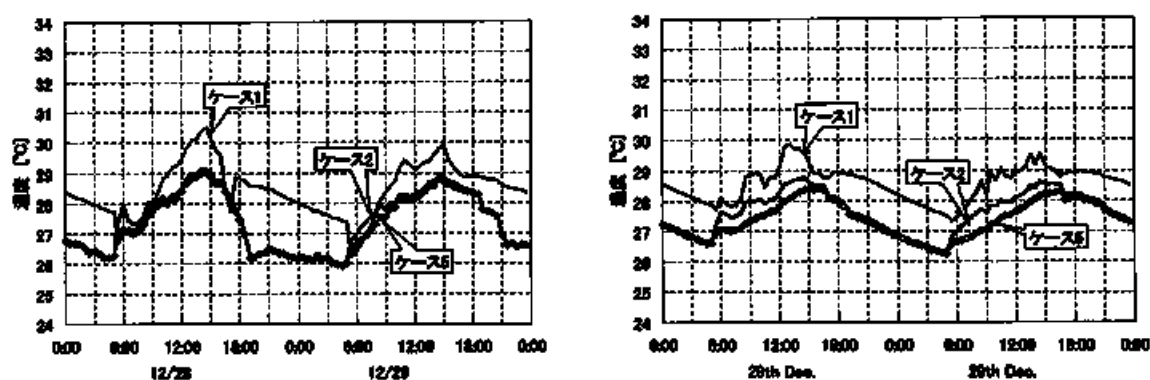


図4-23 計算結果（左：室温、右：平均放射温度）

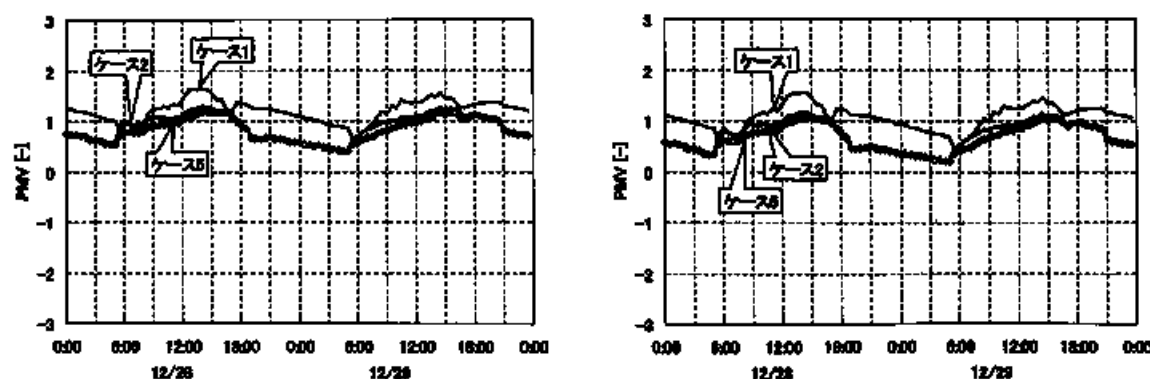


図4-24 PMV計算値（左：風速0のとき、右：0.3m/s）

表 4-10 平均気温、平均放射温度、平均 PMV (PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した)

	平均室温		平均の平均放射温度		平均の PMV			
	日中	夜間	日中	夜間	風速 0m/s		風速 0.3m/s	
					夜間	日中	日中	夜間
ケース 5	28.01	26.62	27.62	27.16	0.96	0.70	0.82	0.51

表 4-11 室温、平均放射温度、PMV の最大値と最小値 (PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した)

	室温		平均放射温度		PMV			
	最大値	最小値	最大値	最小値	風速 0m/s		風速 0.3m/s	
					最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 5	29.04	25.93	28.40	26.23	1.20	0.41	1.08	0.21

壁体構造を変更した場合

壁体構造の影響を調べるために、現状の場合をケース*B (*には窓開放パターンの番号が入る) とし、木造の場合、コンクリート造の場合を、ケース*C、ケース*W として解析した。それぞれ、日中に換気を行い夜間は開口部を閉じた場合と、夜間換気を行い日中に閉じた場合を、ケース 1*、ケース 2*とする。

表 4-12 計算に用いた構造体の各物性値^{10) 11)}

材料	熱伝導率 [W/mK]	熱容量 [kJ/m³]
レンガ	0.3	1337.6
コンクリート	1.6	1946
合板	0.174	711.62
断熱材	0.03248	43.953

日中に換気し夜間に開口部を閉じた場合 (ケース 1** (**には壁体記号が入る)) の結果を図 4-25、図 4-26 に、日中に閉鎖した場合の結果 (ケース 2**) を図 4-27、図 4-28 に示す。日中に開口部を開放した場合には、日中の室温は壁体構造が違っても、ほとんど差がない。レンガ造、コンクリート造、木造の順に日中の最高室温は高くなっている。これは、壁体の断熱性能の違いによる。室温には差が見られないが平均放射温度は、比較的断熱性が高いレンガ造の場合には日中は低くなっている。夜間は、日中とは逆に木造が最も室温が低く、次いでコンクリート造、レンガ造となっている。日中に積極的に換気を行い夜間に開口部を閉鎖する場合は、断熱性能の低い構造を用いる方が有利である。ただし、実験住宅の 2 階の居室は屋根からの日射熱の影響をほとんど受けておらず、日射熱の影響が大きい場合はこの限りではない。

日中に開口部を閉鎖した場合では、レンガ造の場合が室温を最も低く保てており、次いでコンクリート造となっている。木造の場合は、ケース 1 より低いものの日中の最高室温は 30℃を超えている。夜間の平均室温には 0.35℃程度の差があるもののその差は小さい。比較的熱容量のあるレンガ造やコンクリート造では、夜間に蓄冷される分、日中には室温を低く保つことができている。

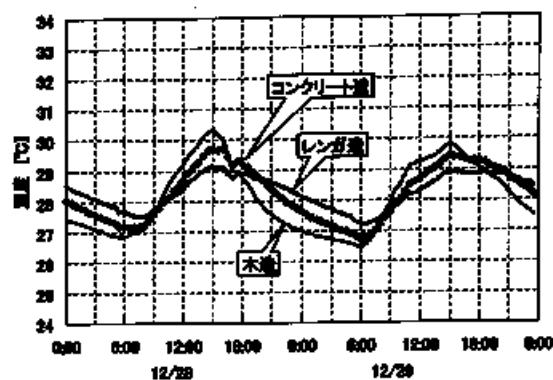
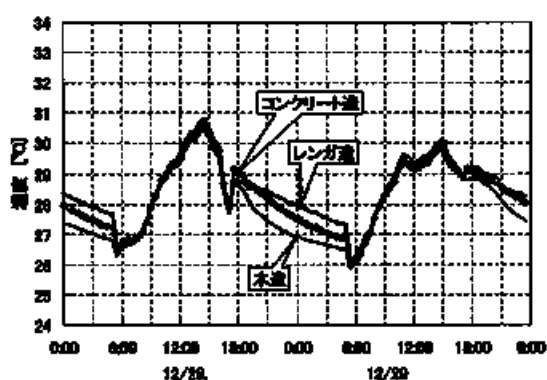


図 4-25 ケース 1 (コンクリート、レンガ、木造) の解析結果 (左: 室温、右: 平均放射温度)

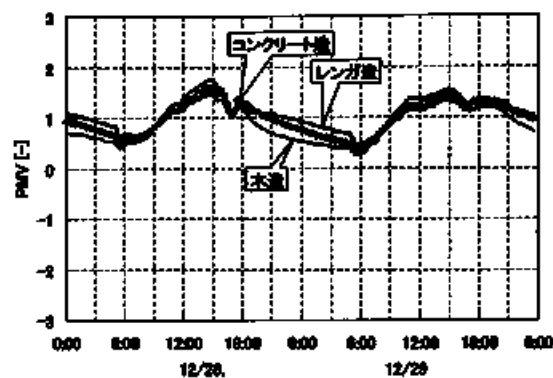
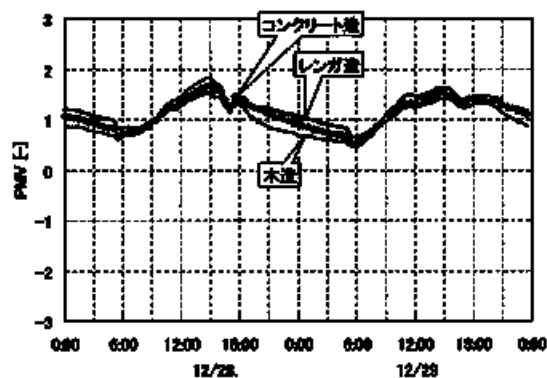


図 4-26 ケース 1 の PMV 計算値 (左: 風速 0 のとき、右: 0.3m/s)

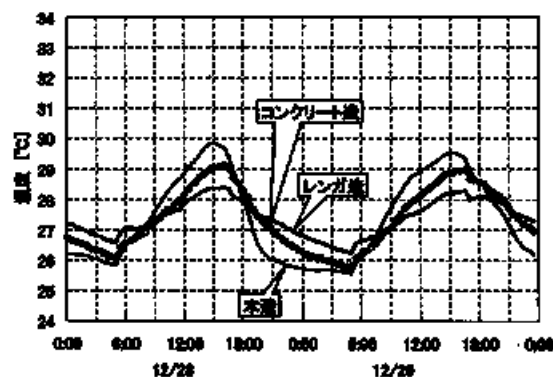
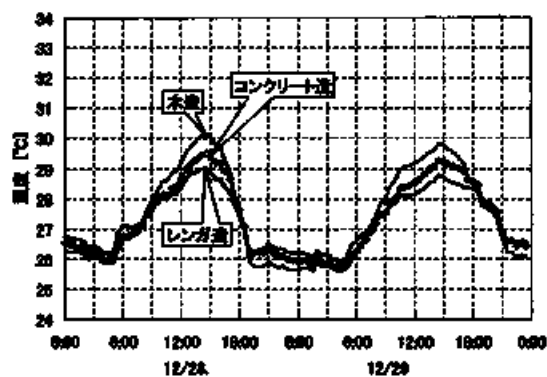


図 4-27 ケース 2 (コンクリート、レンガ、木造) の解析結果 (左: 室温、右: 平均放射温度)

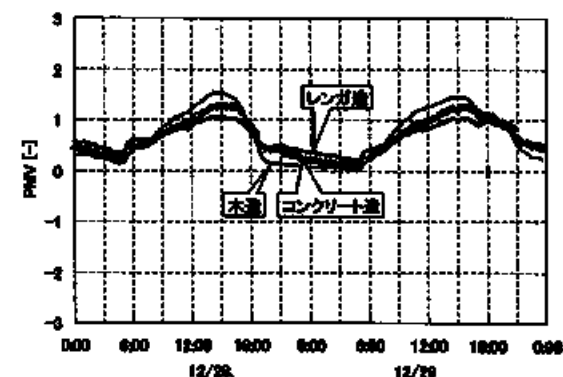
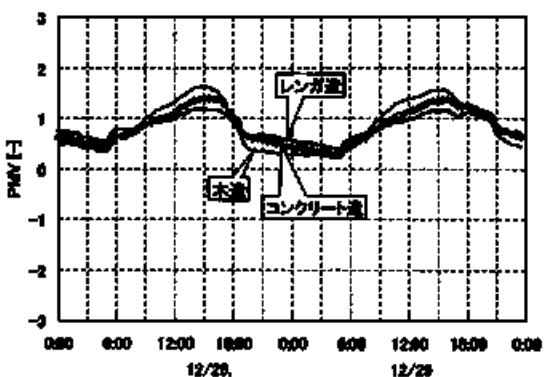


図 4-28 ケース 1 の PMV 計算値 (左: 風速 0 のとき、右: 0.3m/s)

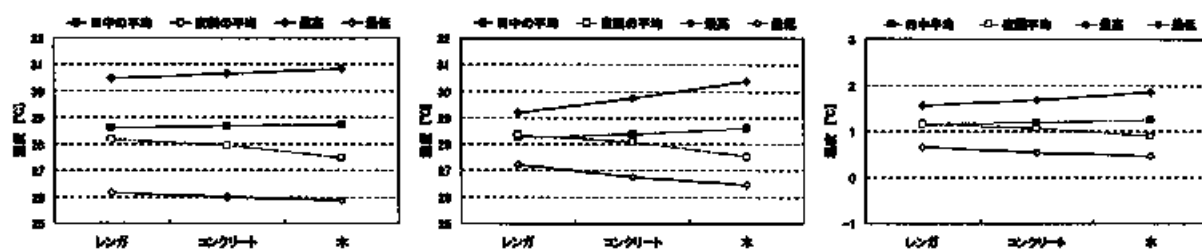


図 4-29 壁体構造を変えた場合の平均値と最高・最低値（ケース 1）（左：室温、中：MRT、右：PMV）

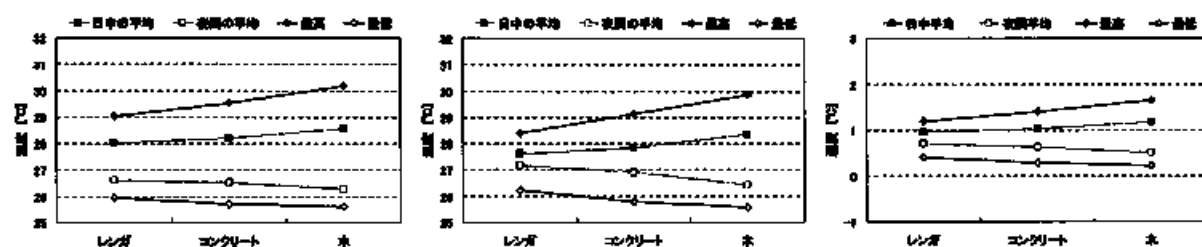


図 4-30 壁体構造を変えた場合の平均値と最高・最低値（ケース 2）（左：室温、中：MRT、右：PMV）

表 4-13 平均室温、平均放射温度、平均 PMV（PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した）

	平均室温		平均の平均放射温度		平均の PMV			
					風速 0 m/s		風速 0.3m/s	
	日中	夜間	日中	夜間	夜間	日中	日中	夜間
ケース 1-B	28.62	28.17	28.23	28.34	1.16	1.15	1.02	1.04
ケース 1-C	28.67	27.95	28.38	28.08	1.20	1.07	1.07	0.92
ケース 1-W	28.73	27.46	28.61	27.54	1.25	0.89	1.13	0.73
ケース 2-B	28.01	26.62	27.62	27.16	0.96	0.70	0.82	0.51
ケース 2-C	28.19	26.50	27.86	26.90	1.03	0.63	0.89	0.44
ケース 2-W	28.57	26.27	28.35	26.43	1.18	0.51	1.05	0.32

表 4-14 室温、平均放射温度、PMV の最大値と最小値（PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した）

	室温		平均放射温度		PMV			
					風速 0 m/s		風速 0.3m/s	
	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 1-B	30.47	26.14	29.18	27.22	1.56	0.65	1.48	0.46
ケース 1-C	30.64	25.98	29.74	26.75	1.69	0.54	1.62	0.34
ケース 1-W	30.84	25.87	30.37	26.45	1.85	0.46	1.77	0.26
ケース 2-B	29.04	25.93	28.40	26.23	1.20	0.41	1.08	0.21
ケース 2-C	29.52	25.70	29.12	25.78	1.41	0.28	1.30	0.08
ケース 2-W	30.17	25.60	29.87	25.58	1.65	0.23	1.56	0.03

断熱材の位置による影響（壁体構造の違いによる影響）

壁体の内外に断熱材を設けた場合について、内側断熱の場合をケース***-I（*には開口パターンの番号、**には壁体記号が入る）、外側断熱の場合をケース***-Oとして解析する。ケース1および2について、木造、コンクリート造、レンガ造の3種類を比較した。床・天井は解析(c)と同様に、コンクリート造として解析を行う。それぞれの物性値は表4-12に示したものである。

解析結果を、図4-31～図4-38と表4-15、表4-16に示す。

レンガ造、コンクリート造の場合は、日中閉鎖型の外断熱の場合に日中・夜間ともに室温を低く保つことができた。レンガ造の場合は、無風の場合でも終日のPMVを1.18以下に、風速が0.3m/sあれば0.98以下に保つことができた。日中に閉鎖していても、内断熱の場合は壁体の熱容量の効果は小さく、日中の室温を上昇させる結果となっている。

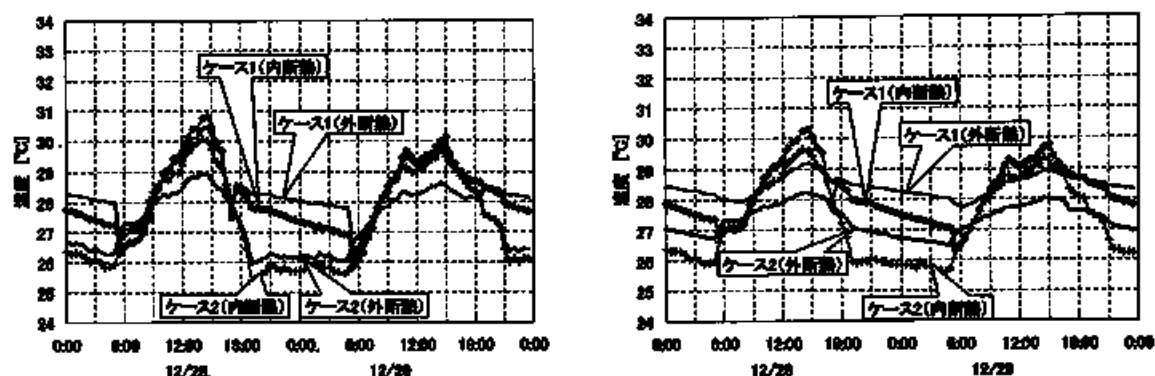


図 4-31 外断熱と内断熱の比較（レンガ造の場合）

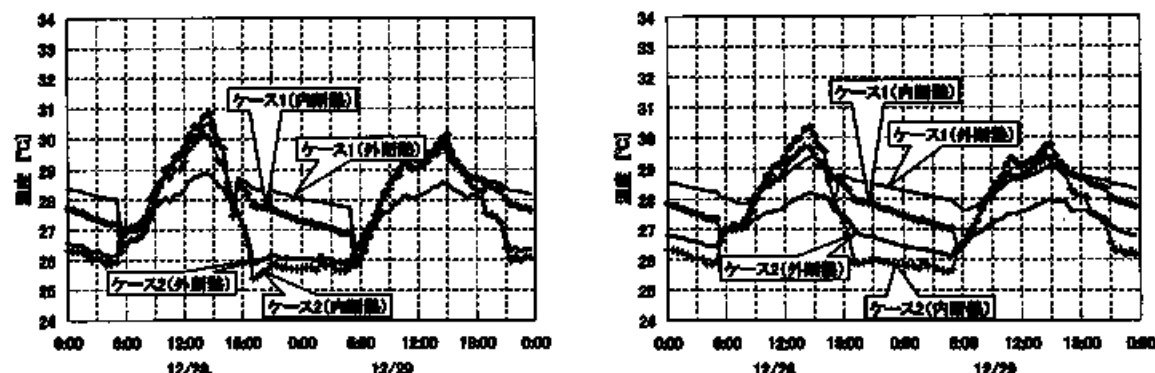


図 4-32 外断熱と内断熱の比較（コンクリートの場合）

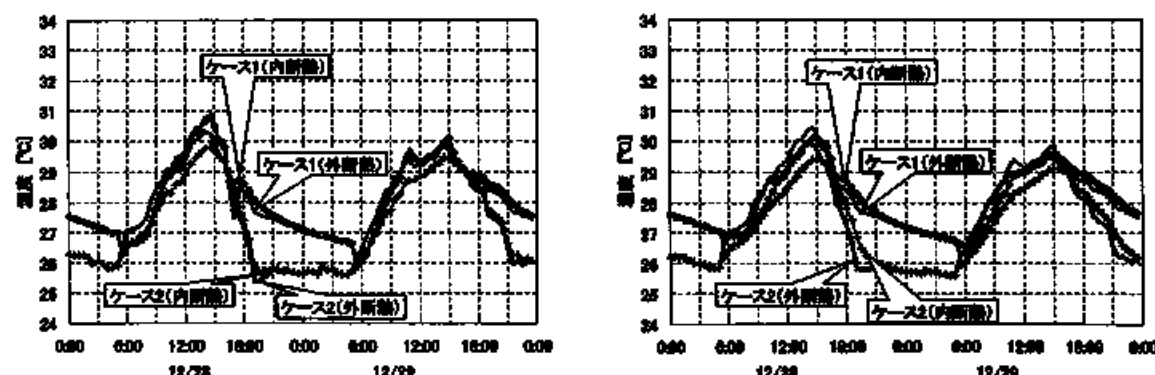


図 4-33 外断熱と内断熱の比較（木造の場合）

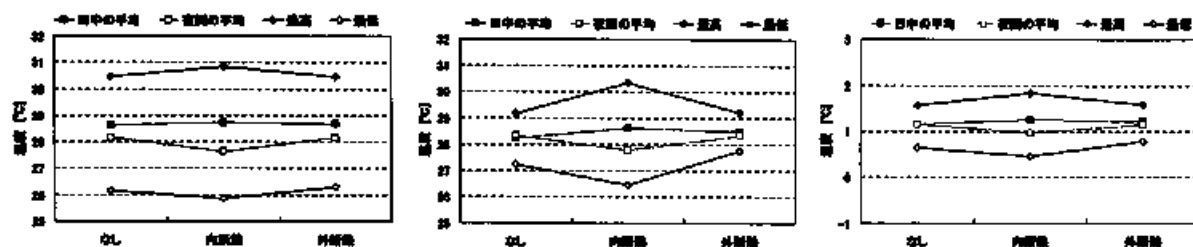


図 4-34 断熱位置を場合の解析結果 (左: 室温、中: MRT、右: PMV) (ケース 1、レンガ造)

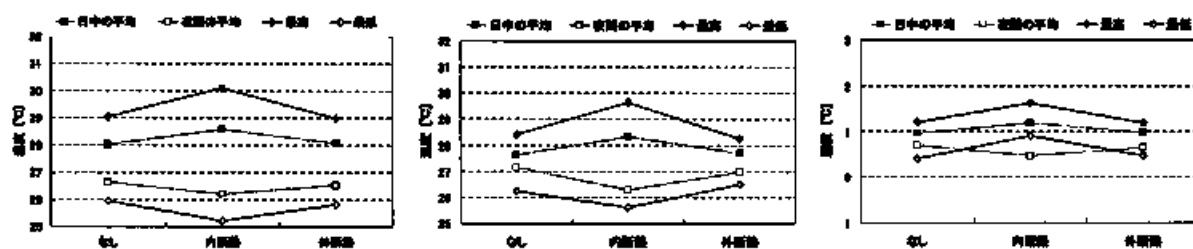


図 4-35 断熱位置を場合の解析結果 (左: 室温、中: MRT、右: PMV) (ケース 2、レンガ造)

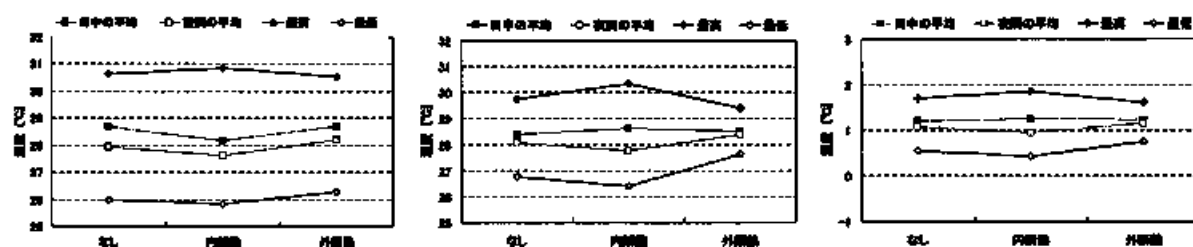


図 4-36 断熱位置を場合の解析結果 (左: 室温、中: MRT、右: PMV) (ケース 1、コンクリート造)

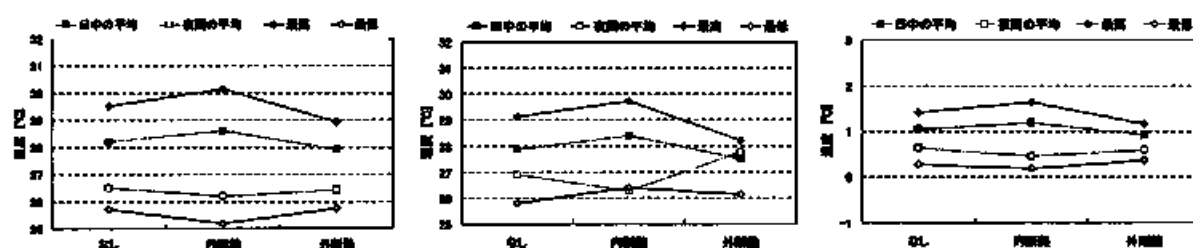


図 4-37 断熱位置を場合の解析結果 (左: 室温、中: MRT、右: PMV) (ケース 2、コンクリート造)

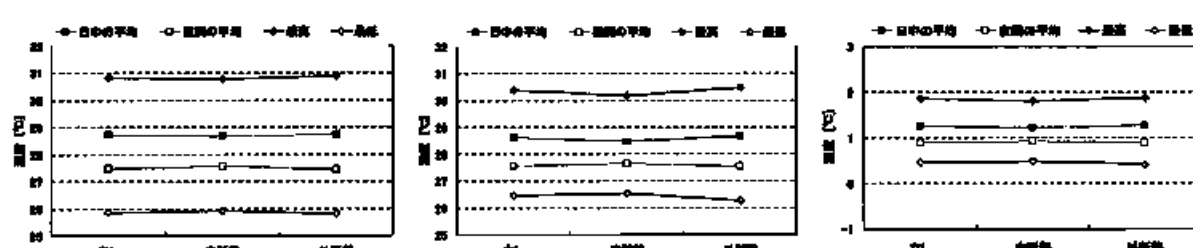


図 4-38 断熱位置を場合の解析結果 (左: 室温、中: MRT、右: PMV) (ケース 1、木造)

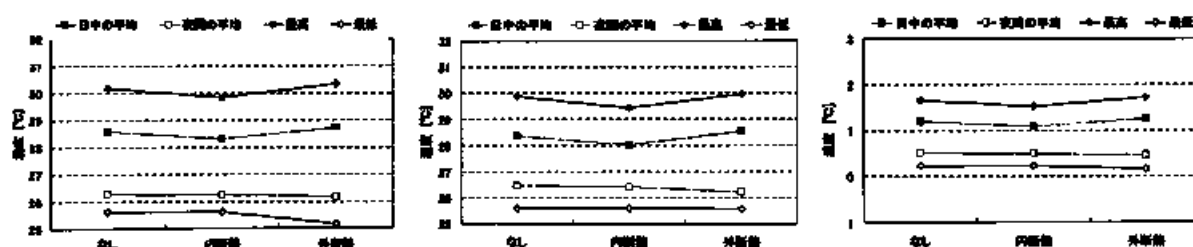


図 4-39 断熱位置を場合の解析結果 (左: 室温、中: MRT、右: PMV) (ケース 2、木造)

表 4-15 平均気温、平均放射温度、平均 PMV (PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した)

	平均室温		平均の 平均放射温度		平均の PMV			
					風速 0 m/s		風速 0.3m/s	
	日中	夜間	日中	夜間	夜間	日中	日中	夜間
ケース 1-B-I	28.73	27.65	28.61	27.77	1.25	0.96	1.03	0.69
ケース 1-B-O	28.69	28.16	28.49	28.33	1.22	1.14	1.00	0.89
ケース 1-C-I	28.18	27.62	28.62	27.74	1.25	0.95	1.03	0.68
ケース 1-C-O	28.70	28.20	28.51	28.39	1.23	1.16	1.01	0.91
ケース 1-W-I	28.68	27.55	28.47	27.65	1.22	0.92	1.00	0.65
ケース 1-W-O	28.74	27.44	28.66	27.54	1.26	0.89	1.04	0.61
ケース 2-B-I	28.58	28.20	28.34	26.28	1.18	0.47	0.95	0.14
ケース 2-B-O	28.07	26.53	27.70	26.97	0.98	0.65	0.74	0.32
ケース 2-C-I	28.60	26.19	28.37	26.26	1.19	0.46	0.96	0.13
ケース 2-C-O	27.91	26.42	27.50	27.76	0.92	0.59	0.67	0.27
ケース 2-W-I	28.32	26.25	28.02	26.39	1.08	0.49	0.85	0.16
ケース 2-W-O	28.73	26.17	28.53	26.21	1.24	0.45	1.02	0.12

表 4-16 室温、平均放射温度、PMV の最大値と最小値 (PMV は風速が 0 と 0.3m/s で計算した)

	室温		平均放射温度		PMV			
					風速 0 m/s		風速 0.3m/s	
	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 1-B-I	30.84	25.86	30.34	26.45	1.83	0.45	1.71	0.10
ケース 1-B-O	30.46	26.30	29.22	27.75	1.57	0.78	1.44	0.43
ケース 1-C-I	30.85	25.84	30.36	26.38	1.84	0.43	1.71	0.08
ケース 1-C-O	30.54	26.28	29.40	27.62	1.61	0.75	1.48	0.41
ケース 1-W-I	30.78	25.92	30.18	26.54	1.80	0.49	1.67	0.14
ケース 1-W-O	30.88	25.80	30.47	26.27	1.86	0.41	1.74	0.05
ケース 2-B-I	30.11	25.21	29.64	25.61	1.62	0.9	1.46	-0.19
ケース 2-B-O	28.99	25.81	28.24	26.50	1.18	0.47	0.32	0.98
ケース 2-C-I	30.16	25.19	29.71	26.38	1.63	0.18	1.48	-0.20
ケース 2-C-O	28.92	25.74	28.20	26.13	1.15	0.37	0.95	0.02
ケース 2-W-I	29.84	25.60	29.44	25.57	1.52	0.23	1.34	-0.13
ケース 2-W-O	30.35	25.16	29.95	25.56	1.71	0.16	1.56	-0.22

(6) 実験住宅に取り入れられた個々の手法の検討

インドネシア・スラバヤに建てられた環境共生実験住宅の温熱環境に関する以上の実測結果および伝熱解析に基づき、以下の項目について温熱環境の改善方策について検討する。

a) 夜間換気と日中閉鎖

日中、夜間ともに通風を行った場合には室温は外気温に近くなり、行わない場合には比較的一定に保たれる。夜間には換気を促進させる方が室温は低下し、日中も室温を低く保つためには、日中には開口部を閉じる方がよい。

つまり、十分な風速が得られない状況では、開口部を開放して通風を行うよりも開口部を閉じた場合に快適な PMV 値が得られる。室内風速が増すと PMV 値が下がることから、外部風を取り入れずに室内に風を起こす手法が有効である。

b) 日射遮蔽

スラバヤの様に赤道直下（スラバヤは南緯 7° にある）にある地域では、日射はほぼ真上から来る。従って、南中（北中）時の太陽高度は高く、一年で最も低い日（日本での夏至にあたる）でも、 70° 程度となる（図 4-40（左））。庇が窓下面から高さ 3m にある場合に南中時の日射を遮るには、庇長さは 1m 程度で十分である（図 4-41）。赤道付近の地域で重要となるのは、朝夕に東西の低い高度から入射する日射である。スラバヤでは、午前 8:00 と午後 16:00 頃には、東西の垂直面にあたる日射量は $800\text{W}/\text{m}^2$ 近くになる（図 4-40（右））。つまり、低緯度地域では真上からの日射に加えて、朝夕の太陽高度が低い時の日射をいかに遮るかが重要となる。逆に言えば、南北方向に対しては、日射の入りさをさほど気にせずに開口を設けられると言うことになる。さらに、日射が強いことから、反射日射も考慮する必要がある。

特に、日中に開口部を閉鎖した場合では、日射などの熱負荷が室温上昇に与える影響は大きい。日中に開口部を閉鎖した場合に日射遮蔽を行うと、午前中に東から来る日射と天空日射が減るために、日射遮蔽を行わない場合と比較すると 1°C 程度室温が低下する。また平均放射温度は、終日 1°C 弱低く保つことができる。結果として、PMV は 0.1 程度の低下となる。実験住宅では、深い軒による日射遮蔽が効いており、日射遮蔽を行う効果は小さいが、より開口面積の大きな住宅においては、大きな効果が期待できる。

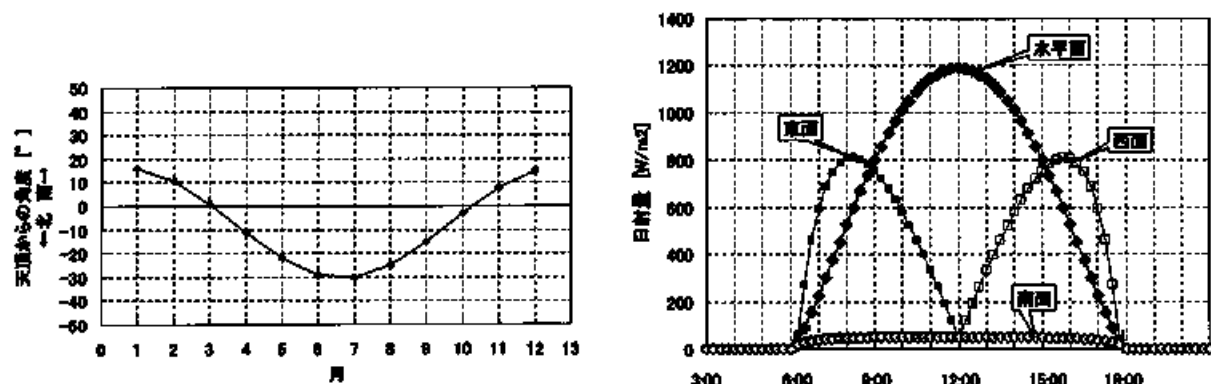
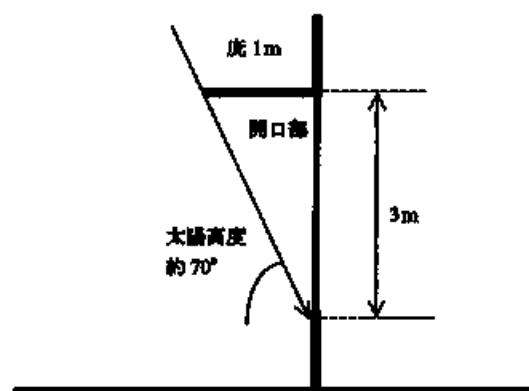


図 4-40 左：直達日射の入射角度、右：スラバヤ市での水平面・東面・西面・南面日射量（3月）



4.3 マレーシア・ペナンに建つ宿泊施設における環境調整手法の実験

(1) 実験の目的

日中の室内温度を低くするためには、夜間換気が有効であることを前節で示した。さらに、建物に適切に熱容量を持たせることで、室温を低く保つことが可能となる。ここでは、マレーシア・ペナンに建つ熱容量の大きな建物（コロニアルスタイルの建物（写真 4-2））の温熱環境を実測し、高温多湿気候下における熱容量の影響について検討した結果を示す。さらに、温湿度測定中に夜間換気を行い、夜間換気と熱容量の効果について実測および数値解析により検討する。また、夜間換気を導入する際の留意点についても検討する。

(2) 実測概要

a) 宿泊施設概要

測定を行った建物は、マレーシア理科大学構内にある宿泊施設である。その平面図を図 4-42 に示す。床面積は約 400m² の 2 階建てであり、1F 北側、1F 南側、1F 西側、2F 北側、2F 南側の計 5 つのブースに分かれている。それぞれのブース内の間取りは、ほぼ同じような構成になっており、中央に主寝室、その周囲に 3 つの部屋とバス、トイレが設置されている。2F 北側ブース内だけリビングがあり、ピロティになっている。主寝室には、クーラーおよび天井ファンが設置されており、周囲の部屋との間の間仕切り壁には、開口（欄間など）が床上 2m の位置に設けられている。間仕切り壁は厚さ 12cm の RC 壁体、外壁は厚い部分で 35cm、薄い部分で 15cm の RC 造であり、熱容量は比較的大きい。床は 25cm の RC 造、屋根は合板・瓦であり、軒の出は約 1m ほどである。窓は全て木製のガラリ付きであり、網戸はない。



写真 4-2 建物（宿泊施設）正面

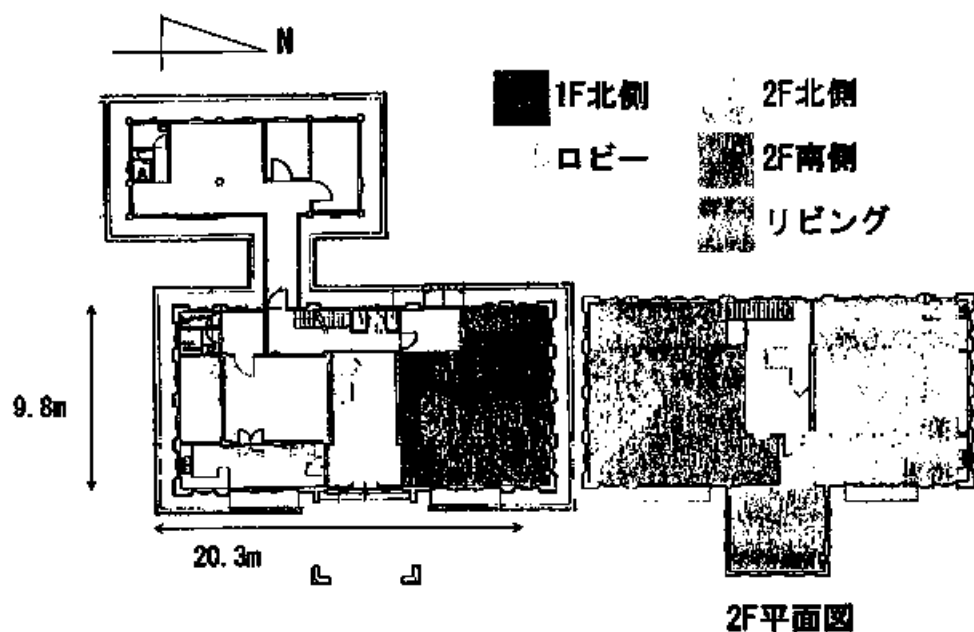


図 4-42 建物の平面図 (左:1 階、右:2 階)

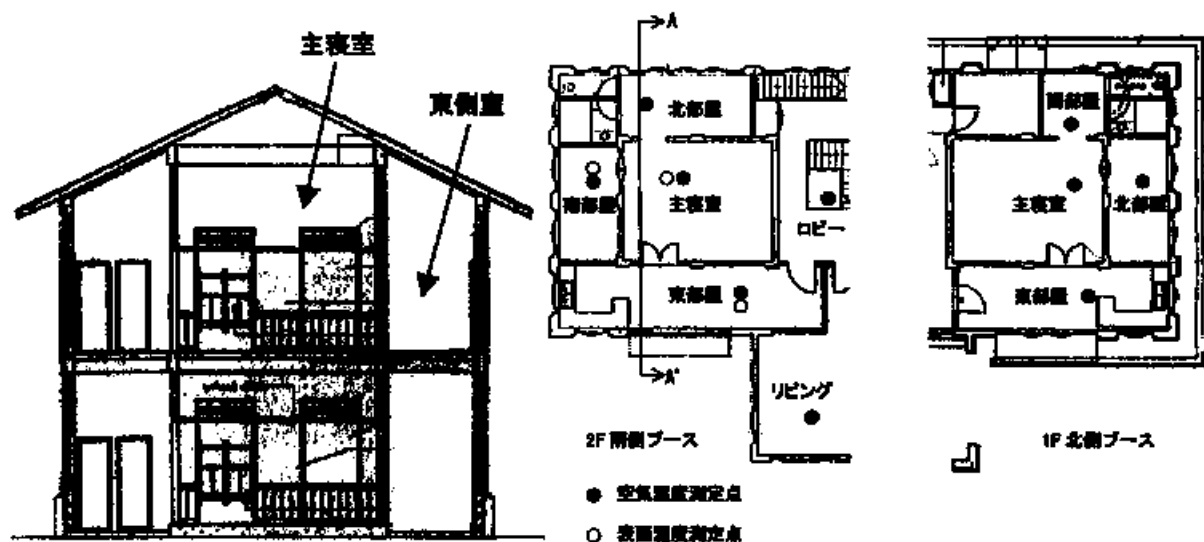


図 4-43 建物 A-A' 断面図と平面図 (左:断面図、右:平面詳細図)

b) 温熱環境測定概要

調査は、2001 年 11 月 11 日から 13 日の 3 日間にわたって行った。宿泊施設内の温熱環境および外部環境を測定した。温湿度の測定にはロガー付き小型温湿度計を用い、5 分毎に測定した。

外気の温湿度は、ロガー付き小型温湿度計を建物の 1F 北側、2F 北側の北部屋の窓から、日射が当たらないように吊り下げて行った。日射量は、建物正面の広場に日射計を 2 台設置し、水平面と南から東に 32.3° ふれた方向の鉛直面日射量を 1 分毎に計測した。

1、2F の北側と 2F の南側において、それぞれ主寝室、東部屋、北部屋、南部屋の温湿度を測定した。

またロビー部分での温湿度と壁・床の表面温度を測定した。その際、開口部の開閉状態とエアコンの運転状態を、表 4-17 に示すスケジュールで変えた。ロビーでは 1F 床上 1.2m、1F 床上 3m、および 2F 床上 1.2m の 3 箇所で温湿度の測定を行った。測定箇所を図 4-43 に示す。また、各ブース内には、2 人ずつが宿泊していた。

表 4-17 各主要室における開口部の開閉とエアコンの運転状態

		[]:窓開放状態												[]:エアコン運転状態																							
		11日												12日												13日											
		時刻	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12													
1F	窓開放					8~10																															
北	エアコン		8:20~7:50																					10~19													
		11日												12日												13日											
		時刻	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12													
2F	窓開放					8:40~18:00																															
北	エアコン		8:20~8:40						19:00~8:00															23:00~10:00													
		11日												12日												13日											
		時刻	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12													
2F	窓開放								19:00~8:00															23:00~8:00													
南	エアコン		8:20~8:00																																		

(3) 温熱環境実測結果

a) 外部環境

図 4-44 に 1 階と 2 階の北側で測定した外気温、相対湿度を示す。外気温は午前 7:00 に最低となり、1 階で約 26.1℃、2 階で約 25.9℃であった。また、14:30 頃に最高となり、1 階で約 33.1℃、2 階で約 33.8℃であった。2 階での測定値は 1 階に比べて変動が大きいが、これは近くの樹木による天空放射遮蔽や風速の影響などによるものと考えられる。相対湿度は日中 55~60%、夜間に 85~90%の間を推移しており、夜間は 2F の測定値が 1F に比べて約 5%高くなっている。平均の相対湿度についても 1F が 71.6%、2F が 76.0%であり、2F の方が全体を通して高い。

図 4-45 (左) は日射量の実測結果を、3 日間について示したものである。3 日ともほぼ同じような変動をしており、水平面日射量の最大は 13:00 頃で、その値は 1000~1100W/m²である。一方、鉛直面日射量は、南向きより 32.3° 東にふれていたため、最大が午前 11:00 頃になり、その値は 800~850W/m²となっている。図 4-45 (右) は、計測した水平面全日射量から、ベルラーゲの式とブーガの式を用いて大気透過率を求め、天空放射と南面直達日射量を推定したものである。日中の大気透過率は 0.6~0.8 であるが、夕方は曇りがちであったため、0.2~0.3 まで落ちている。



図 4-44 測定期間中の外気温と相対湿度および天候

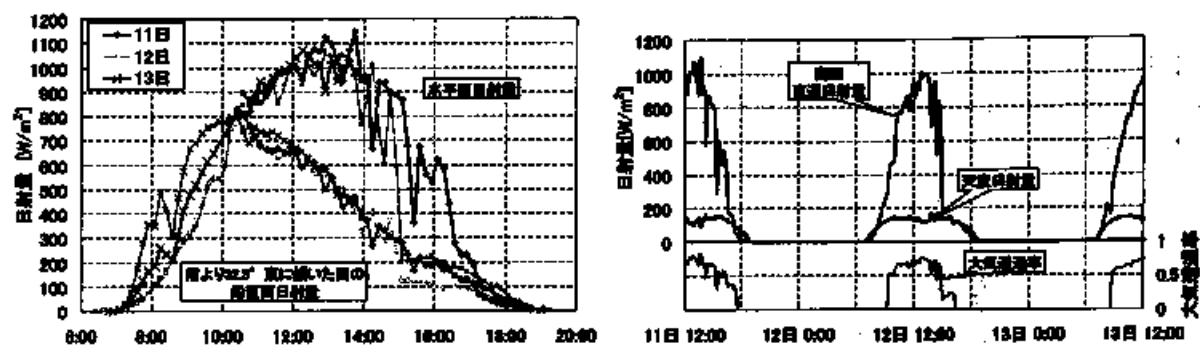


図 4-45 日射量 (左: 実測値、右: 南面直達日射量、天空日射量と大気透過率の推定値)

b) 温湿度測定結果

各主寝室の温湿度比較

図 4-46 (左) に各主寝室とリビングの温度、図 4-46 (右) に相対湿度、絶対湿度を示す。12 日の午前中から夕方までの、エアコンを使用せずに閉め切った状態では、室温はリビング、2 階南側主寝室、2 階北側主寝室、1 階北側主寝室の順が高い。各主寝室の室温は 1 階より 2 階の方が、北側より南側の方が高い。これは、屋根と南壁にあたる日射によるものと考えられる。また、リビングの室温は、ほとんどエアコンを運転していない各主寝室に比べると、日中と夜間の温度差が激しい。これは北・南・東壁が外気に面した窓が多いため外気との換気量が多いこと、また午前中は東からの日射が直接あたるのが原因として考えられる。

絶対湿度 (図 4-46 (右)) は、14:00 頃最低となり、午前 0:00 頃に最高となる。2 階南側主寝室、1 階北側主寝室の絶対湿度はほとんど差がなく、どちらも外気の絶対湿度に近い。リビング、2 階北側主寝室はエアコンの除湿の影響をかなり受けており、絶対湿度は低い。また、リビング、2 階北側主寝室ではエアコンが停止すると絶対湿度は急激に上昇し、約 2 時間で外気とほぼ等しくなる。窓を閉め切っても換気量が多いことが分かる。

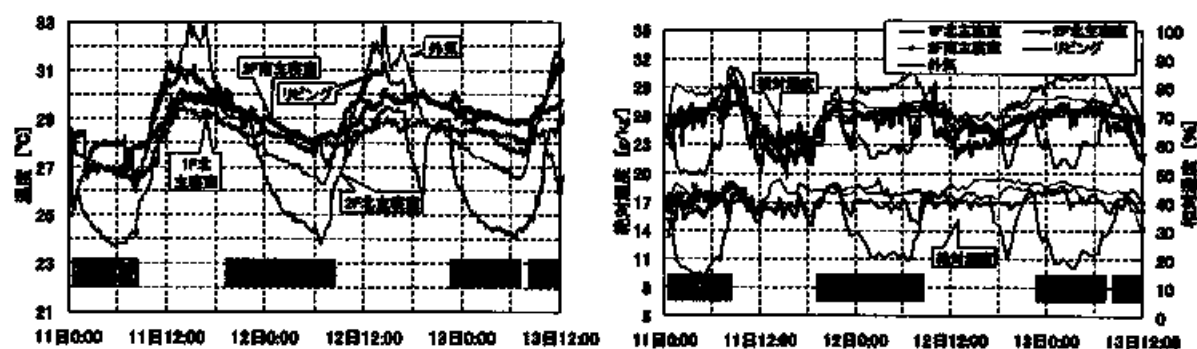


図 4-46 各主寝室とリビングの温湿度 (左: 温度、右: 相対湿度と絶対湿度)

(①: 2 階北主寝室、②: 1 階北主寝室、③: 全主寝室でエアコンを運転)

1 階北側ブース内の温湿度比較

図 4-47 (左) に 1 階北側ブース内各部屋の室温変動を示す。日中の温度は、東部屋、主寝室と北部屋、西部屋の順に高く、西部屋と東部屋では約 1℃の差がある。逆に夜間はこの順に室温は低い。東部屋には午前中に日射が当たるため、朝方から日中にかけて温度が高くなっている。また、床面積に対して外部に面する壁面積が他の部屋に比べ大きいため、外気の影響を受けやすいことも原因と考えられる。

11 日の日中、直達日射が当たらない西・北・主寝室の中で、西部屋の室温だけが低い。これは、宿泊者が不在であったためと考えられる。一方、12 日の日中のように、すべての部屋が使われていない場合には、西・北・主寝室の 3 部屋は同じ温度変化をしている。また、測定した 3 日間は、夕方から夜間にかけて曇りであったため、西部屋にはあまり日射が当たらなかったことも、西部屋の室温が低い原因として考えられる。

図 4-47 (右) には 1 階北側ブース内各部屋における絶対湿度と相対湿度を示す。絶対湿度については、北部屋だけが約 2g/kg(DA) ほど高くなっている。この値は相対湿度、絶対湿度ともに、常に高くなっていることから、小型温湿度計のセンサー感度の違いによる影響が考えられる。

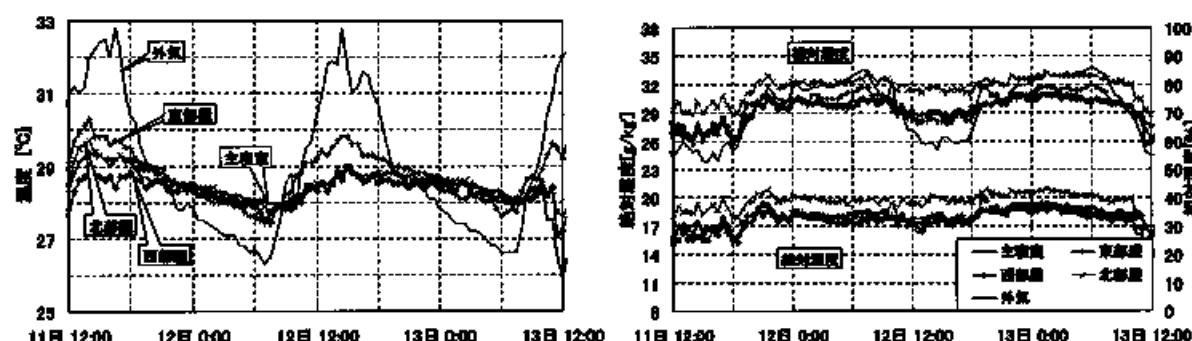


図 4-47 1 階北側ブース内各部屋の温湿度 (左: 温度、右: 相対湿度と絶対湿度)

窓開放の影響

図 4-48 (左) は、2 階南側ブース東部屋の室温と、2 階北外気温の変化を示したものである。11 日は 19:00 から、12 日は 23:00 前から東部屋と西部屋の窓開放を行っている。

それぞれの日の 19:00 から 23:00 までの室温低下を比較する。窓開放を行った 11 日は窓開放後からゆっくり室温が下がり、23:00 の室温は 19:00 より 0.9℃低い。一方、窓開放を行っていない 12 日は室温低下の傾きが小さく、23:00 の室温は 19:00 より 0.4℃低い。11 日は窓開放を 19:00 から行うことにより、12 日より外気温が高めであったにも拘わらず、大きな室温低下がみられた。さらに、12 日の 23:00 に窓開放を行った直後は、室温は急激に 0.9℃低下しており、窓開放によって室温が低下したことが分かる。また、23:00 以降の室温は外気温がほとんど同じであるにも拘わらず、12 日の方が 11 日より高い。これは外部風の強さの違いによるものと思われる。外部風によって室温低下には差が生じるが、窓開放が室温低下に効果があることは確認できたと言える。

図 4-48 (右) は、2 階北側主寝室の室温と 1 階北外気温の関係を示している。11 日は日中に窓開放

を行い、12日は窓開放を行わなかった。2日間の外気温にあまり差はないが、23:00頃から窓開放を行った11日の室温の方が高くなっている。日中の窓開放は、外気温が室温より高いため、室温を上昇させる。窓開放は外気温が室温より低い夜間に行うのが効果的であるが、風速や外気温に大きく影響されるので、その効果と有効な方法については十分な検討が必要である。

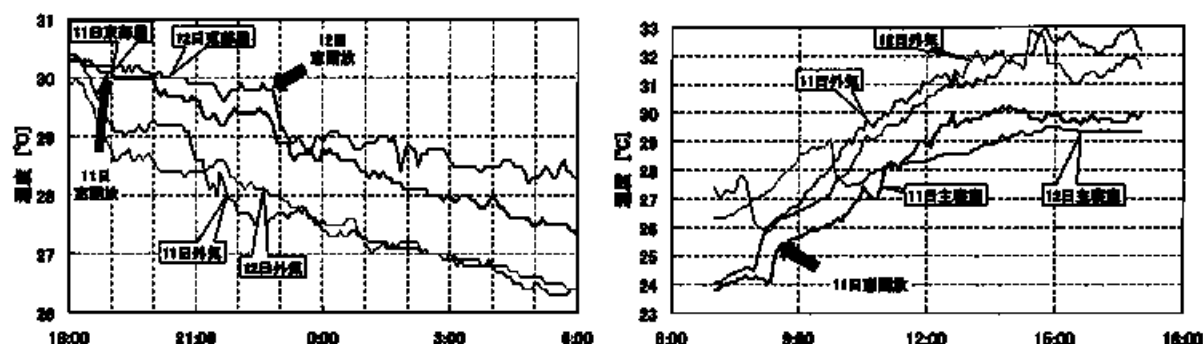


図 4-48 夜間換気の影響(2 階南側ブース)、日中換気の影響(1 階北側ブース)

(4) 室内風速測定結果

図4-49に1階北側ブースと2階南側ブースでの風速の測定結果を示す。ともに11日12:00から測定を行った結果である。外部風は、建物東側では東から西に向かって $0.75 \sim 1.7 \text{ m/s}$ 、建物北側では $0.27 \sim 0.35 \text{ m/s}$ の風速があった。2階南側ブースでは全ての窓を閉鎖しており、1階北側ブースでは全ての窓を開放している。東側に海があり東西の風が卓越しているので、室内でも東側から西に風が流れている。特に、東側では風速が強くなっている。窓を閉じている場合でも、がらりを通して風は流入しており、東部屋から主寝室へ流れる風がある。

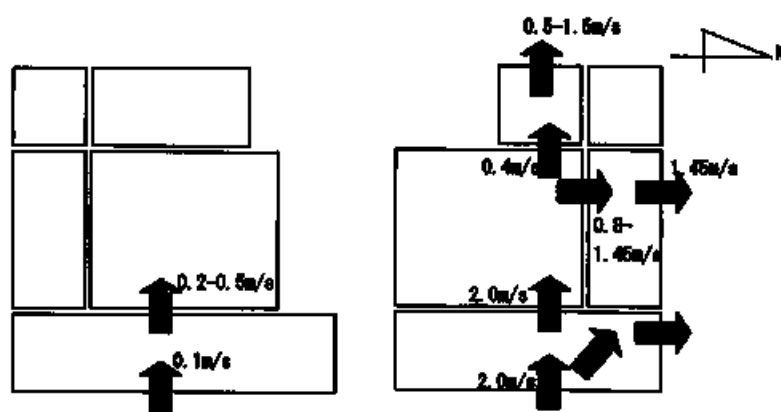


図 4-49 室内の風速 (左: 2 階南側ブース (窓閉鎖時)、右: 1 階北側ブース (窓開放時))

(5) 室内温湿度解析

4.2 (4) 節のスラバヤの実験住宅での温熱環境の実測と解析では、夜間に換気を行い日中に外気との換気を少なくすることで、終日室温を低く保つことが可能なことを示した。また、建物に熱容量を持たせて、夜間に躯体を冷やすという方法の効果についても検討した。本解析では対象とした宿泊施設、すなわちマレーシア・ペナンでの熱容量の大きな住宅での実測結果をもとに作成した解析プログラムにより、熱容量の影響を明らかにする。

a) 温湿度解析概要

温熱環境の解析では、図 4-42 に示す 1 階北側および 2 階南側のブースを解析対象とし、各室内の温湿度、平均放射温度 (MRT)、PMV を計算した。

外気温湿度には、2001 年 11 月 11～13 日の 2 階北側で測定した結果を用いた。壁、床、天井については一次元熱伝導方程式を解いた。平均放射温度には、各表面温度を面積によって重み付けをして求めた面積平均表面温度を代用している。PMV は、代謝量 58.2W/m^2 、仕事量 0、着衣量 0.56clo、人体周りの風速 $0\sim 1.5\text{m/s}$ として算定した。

各部屋間の換気量は (4) での風速測定の結果を基に風の流れを考慮して決定した。窓を開放している場合の換気量を図 4-50 に示す。窓閉鎖時は外部との換気量を図 4-50 に示している値の 1/5 とし、部屋間の換気量は $100\sim 1000\text{m}^3/\text{h}$ とした。1 階北側ブースの東部屋では、外気に面した窓の上に開口部があったため、窓を閉じた場合でも $1000\text{m}^3/\text{h}$ (換気回数では 10 回/h 程度) とした。窓の開閉については、測定期間中の記録に基づいて定めた。また、解析対象とした期間は、冷房を使用していない時間帯としている。

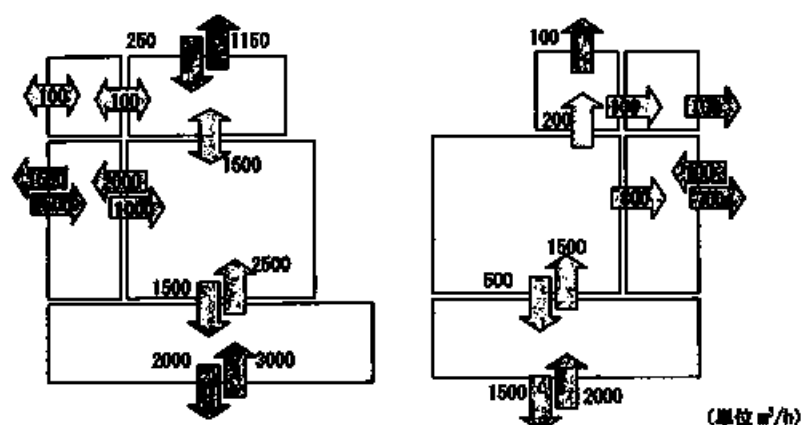


図 4-50 各部屋間の換気量 (左: 2F 南側ブース、右: 1 階北側ブース)

b) 解析結果と実測結果の比較

1 階北側ブース

1 階北側では、午前 7:00～8:00、午後 19:00～20:00 に窓を開放していた。図 4-51 に 1 階北側ブースの主寝室および東部屋での温湿度の実測結果と解析結果の比較を示す。主寝室、東部屋の両室において、解析結果は実測値をほぼ再現できている。建物外の風速は東側が最も強く、次いで南側、北側および西側は弱くなっていた。また、窓上にある開口も影響して、東部屋は他室に比べて換気量が多いと考えられる。実際に測定結果を見ても、東側での室温変動が大きくなっている。そのため本解析では、窓閉鎖時にも東部屋と外気との換気量を他室と外気との換気量よりも大きな値としている。

相対湿度については、主寝室、東部屋の両室の解析値は実測値よりも常に 5% 程度高い値となっていた。4.2 (5) での解析でも同様の傾向が現れている。これは壁体の吸放湿性を無視しているために、湿度の変動に対して換気が支配的となるために、外気湿度に近くなっている。吸放湿の影響を考慮した検討が必要である。

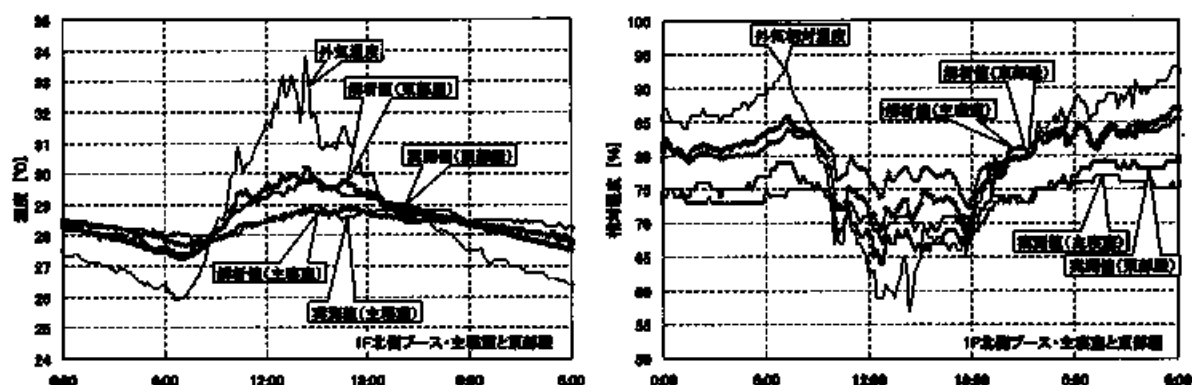


図 4-51 主寝室・東部屋温湿度の解析値と実測値 (左：温度、右：相対湿度)

2 階南側ブース

図 4-52 に、2 階南側ブースの主寝室および東部屋での温湿度の解析結果と実測結果を示す。主寝室の室温は実測値をおおむね再現できている。東部屋では午前 8:00～10:00 の計算値が実測よりやや低い値となっている。窓ガラスを通しての日射がうまく表現されていないためと考えられる。しかし 22:00 過ぎの温度低下などはよく表現されている。ここでも相対湿度は実測値よりも 5～10% 程度高い。

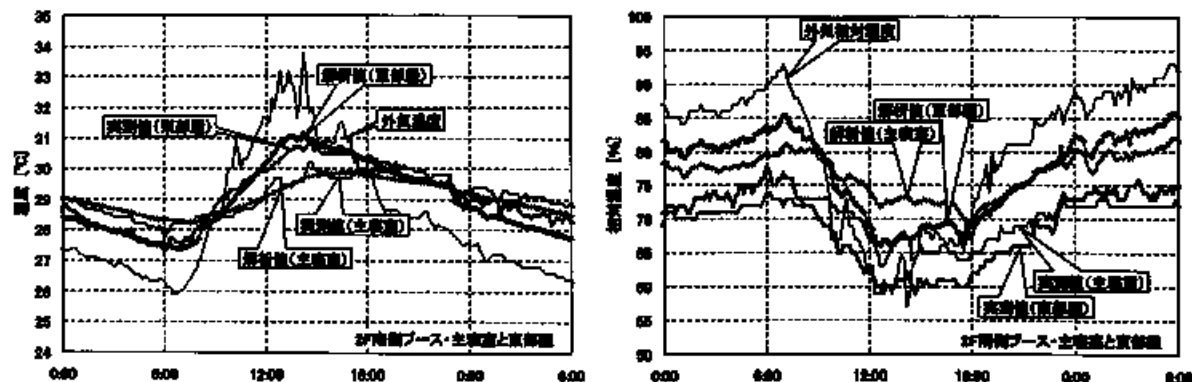


図 4-52 主寝室・東部屋温湿度の解析値と実測値 (左：2 階南側ブース、右：1 階北側ブース)

c) 現状での温熱環境

1 階北側ブース

1 階北ブースでの各部屋での室温と平均放射温度 (MRT) を図 4-53 に示す。ともに、12 日午前 0:00 ~13 日午前 6:00 の解析結果である。日中には、全ての窓を開けているにも拘わらず、東部屋では室温が高くなっている (図 4-53 (左))。東側は、外部風が強いこと、窓の上に開口があることから外部との換気量が多くこのために室温が上昇している。平均放射温度 (図 4-53 (右)) は室温の変動に強く依存するため、室温の高い東側が最も高くなっている。また、外気に面する壁が無い主寝室の平均放射温度は、最も低い値で推移している。

図 4-54 に 1 階北側ブース主寝室 (左) および東部屋 (右) での PMV を示す。主寝室には天井にファンが設置されており、ファン稼働時には室内で最大 1.2m/s 程度の風速が得られる。ここでは、風速を 0~1.5m/s まで変化させて PMV を求めた。

PMV の変動は室温や平均放射温度の変動に依存している。そのため、東部屋は 14:00 前後での値が高く昼夜の変動があるが、主寝室での変動は小さい。日中の PMV は主寝室では 1.25 (無風時)、0.5 (風速 1.5m/s) であり、風速が増せばどちらでもない (PMV<0.5) の範囲に入る。一方、東部屋は風速が 1.5m/s の場合でも 1 を超える時間帯があり、暖かい環境となっている。夜間は主寝室、東部屋ともに 1.0~1.25 (無風時) で、風速があればどちらでもない (PMV=0) 環境に近づいている。

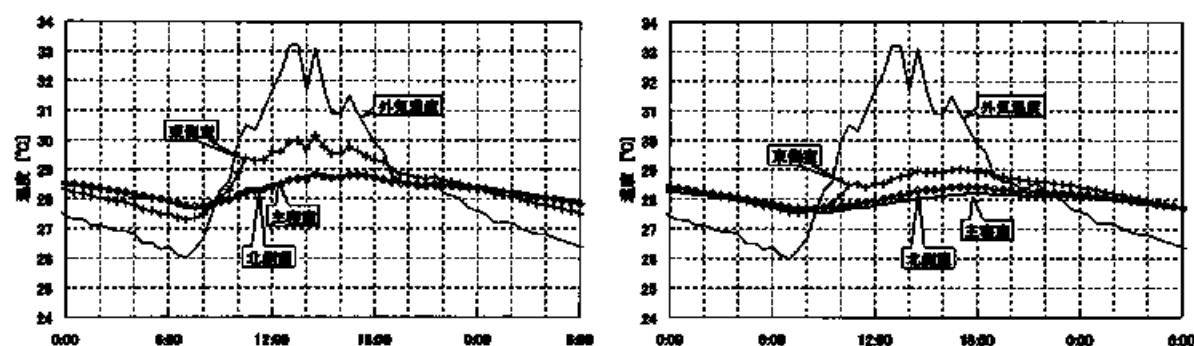


図 4-53 1 階北側ブース各室の室温 (左) と平均放射温度 (MRT) (右)

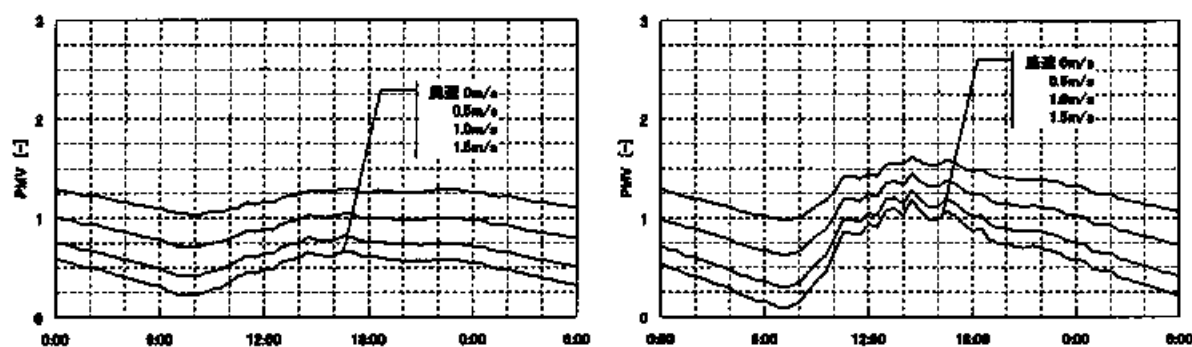


図 4-54 1 階北側ブース主寝室・東部屋 PMV (左: 主寝室、右: 東部屋)

2階南側ブース

図 4-55 (左) に、2 階南側ブースの各部屋の室温を、図 4-55 (右) に平均放射温度 (MRT) を示す。また、図 4-56 に人体周りでの風速を変えた場合の主寝室 (左) および東部屋 (右) での PMV を示す。室温は、15:00 頃に南部屋が最も高くなっており、次いで東部屋が高くなっている。ともに、熱容量を持つ外壁に日射が当たり、午後になってその熱が室内へ影響をおよぼしていると言える。特に、南部屋では日中を通して南側壁および屋根から日射があたること、15:00 の時点での室温は東部屋や西部屋に比べて 0.5℃程度高くなっている。平均放射温度は、午前中は 1 階北側ブースと同じく室温が高い東部屋が最も高くなっているが、15:00 を過ぎると南部屋が高くなっている。図 4-42 の断面図に示すように、主寝室以外の部屋では天井がないため屋根からの熱流入が大きい、主寝室では屋根裏が存在するため平均放射温度の最大値は他の部屋よりも低く、最高でも 29.8℃であった。

室温、平均放射温度ともに一日の変化が小さいために、主寝室の PMV (図 4-56 (左)) の昼夜の変動が小さい。常に 1.5~2.0 の範囲にあり、1.5m/s 風速がある場合でも 1.5 を下回らず高い値となっている。東部屋での PMV (図 4-56) は、室温が最も低い午前 7:00 時点で、無風の場合 1 程度、風速が 1.5m/s の場合に 0 程度となった。1 階と比較すると、全体的に高い値となっている。室温が最も高くなる 12:00~18:00 には、風速が大きくても 1.5 以上の値となっており、暑い環境であることが分かる。

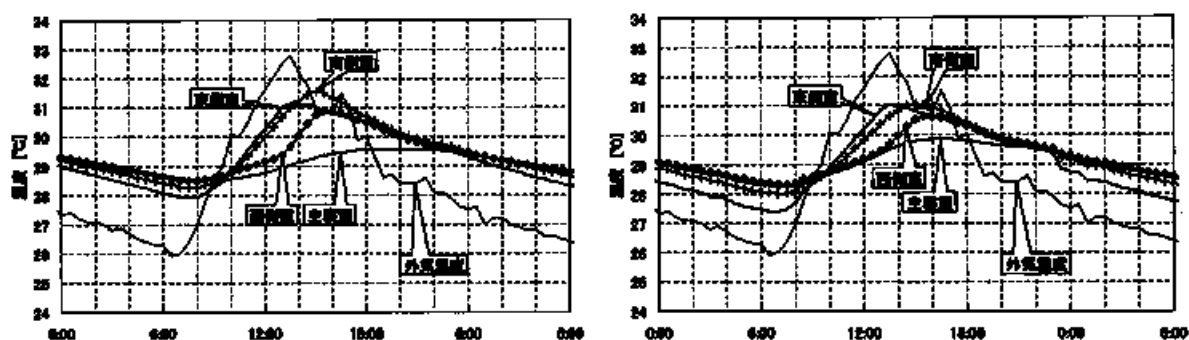


図 4-55 2 階南側ブース各室の室温 (左) と平均放射温度 (MRT) (右)

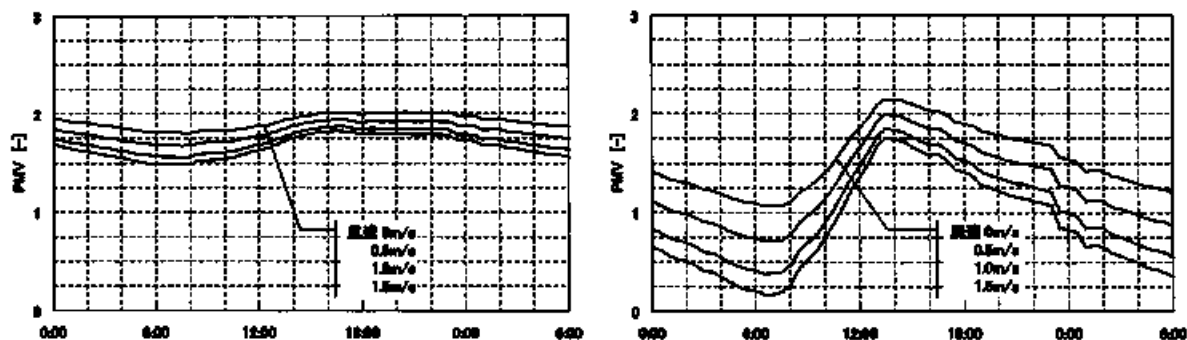


図 4-56 2 階南側ブース主寝室・東部屋 PMV (左: 主寝室、右: 東部屋)

d) 建物熱容量と窓開放の影響

実測では、2階南側ブースにおいて夜間に窓開放を行った。解析においては、その窓開放スケジュールに従って、換気量を決定した(図4-50)。ここで決定した換気量を用いて、窓開放を行う時間帯を変えた場合の解析結果を示す。日中換気の場合は午前6:00～18:00に窓開放を行い、夜間換気の場合は18:00～午前6:00の間に窓開放を行うこととした。

窓開放の影響 (2階南ブース主寝室)

図4-57に窓開放時間帯を変えて室温解析を行った結果を示す。また、表4-18に各場合の主寝室室温の平均値、最大値および最小値を示す。

平均室温は、夜間のみ窓開放を行った場合と終日窓を開放した場合が低い値となっている。最高気温では、夜間のみ窓開放を行った場合が最も低く、日中に窓を開放した場合と比べると0.5℃、終日窓開放の場合よりも0.2℃低い。最低気温では、終日窓開放を行った場合が28.0℃と最も低い値となっている。窓開放時間帯は午前6:00～18:00までとしているため、外気温度が最も低くなる午前7:00まで窓を開放した終日開放の場合が最も低くなった。夜間窓開放は外気温度が室温よりも低い時間帯(午前8:00まで)に行うことが効果的である。ただし、東側については窓からの日射が入らないような工夫が必要である。夜間の窓開放により、行わない場合よりも午前6:00の時点での室温が約0.9℃低くなっている。また日中の室温も、夜間に窓開放を行った場合には、夜間に窓開放を行わなかった場合と比較すると0.3～0.4℃低く保たれている。夜間の窓開放によって躯体が冷やされ、日中の室温が低く保たれることが分かる(夜間窓開放と終日閉鎖の最高気温の比較、もしくは日中開放と終日開放時の最高気温を比較)。

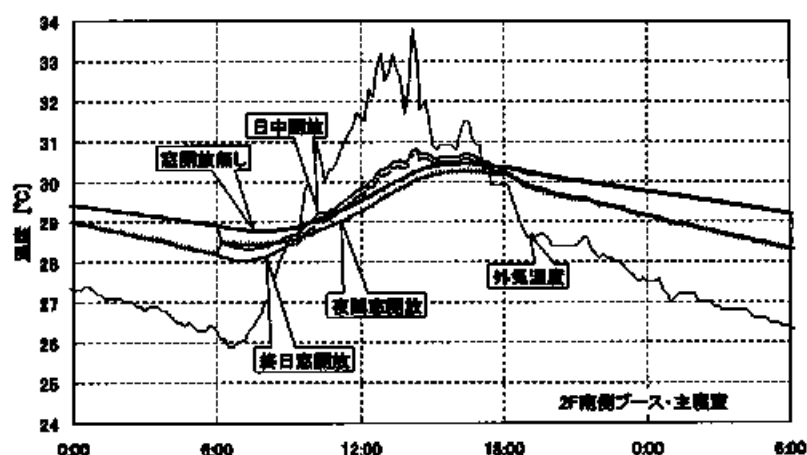


図4-57 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温(熱容量大)
(左:夜間開放のみと日中開放のみ、右:終日開放と終日閉鎖)

熱容量の影響 (2階南ブース主寝室)

次に、同様の解析を間仕切り壁の厚さを実際の1/3にした場合について行った。主寝室室温の平均値、最大値、最小値の結果を表4-18と表4-19に示す。表4-19中の符号は熱容量が大きい場合との差を示す。最低温度は、熱容量が小さい場合の方が0.4～0.6℃低い。それに対して、最大値は0.4～0.6℃

上昇している。熱容量を大きくすることにより、日中のピーク値を下げるができる。また、平均値は窓開放の時間帯によらず全て同じ値となった。室温の最低値・最高値は、熱容量が大きい場合と同様な傾向を示した。

表 4-18 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温（熱容量が大きい場合）

	平均値 [℃]	最高温度 [℃]	最低温度 [℃]
夜間のみ窓開放	29.2	30.3	28.2
日中のみ窓開放	29.6	30.8	28.3
終日開放	29.3	30.7	28.0
終日閉鎖	29.6	30.5	28.8

表 4-19 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温（熱容量が小さい場合・現状の 1/3）

	平均値 [℃]	最高温度 [℃]	最低温度 [℃]
夜間のみ窓開放	29.2 [±0]	30.9 [+0.6]	27.8 [-0.4]
日中のみ窓開放	29.6 [±0]	31.2 [+0.4]	27.9 [-0.4]
終日開放	29.3 [±0]	31.1 [+0.4]	27.6 [-0.4]
終日閉鎖	29.6 [±0]	31.0 [+0.5]	28.3 [-0.5]

熱容量の影響（1 階北ブース主寝室）

熱容量の最も効果が大いと思われる、1 階北ブース主寝室に関して、夜間窓開放による室温低下を調べた。結果を表 4-20 および表 4-21 に示す。夜間に窓を開放する時間は、外気温度が室温よりも低くなっている 20:00～午前 8:00 までとした。主寝室の変動は熱容量の大きい場合、終日開放の場合でも $28.4 \pm 1^\circ\text{C}$ であったが、熱容量の小さい場合は、その変動が $28.3 \pm 1.5^\circ\text{C}$ となり、温度変化が大きくなる。温度の違いは 2 階南ブース主寝室と同じような傾向にある。

表 4-20 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温（熱容量が大きい場合）

	平均値 [℃]	最高温度 [℃]	最低温度 [℃]
夜間のみ窓開放	27.9	28.4	27.4
日中のみ窓開放	28.6	29.4	27.7
終日開放	28.4	29.3	27.4
終日閉鎖	28.1	28.5	27.8

表 4-21 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温（熱容量が小さい場合・現状の 1/3）

	平均値 [℃]	最高温度 [℃]	最低温度 [℃]
夜間のみ窓開放	27.8 [-0.1]	28.6 [+0.2]	26.8 [-0.6]
日中のみ窓開放	28.4 [-0.2]	29.7 [+0.3]	27.0 [-0.7]
終日開放	28.3 [-0.1]	29.7 [+0.4]	26.8 [-0.6]
終日閉鎖	27.9 [-0.2]	28.6 [+0.1]	27.0 [-0.8]

(6) 熱容量の大きな建物の実測と解析のまとめ

熱容量と窓開放の影響の実態を把握するために、マレーシア・ペナンに建つゲストハウスにおいて室温測定を行い、さらに実測結果に基づいた解析によって温熱環境評価を行った。

実測より次のことが示された。外部の影響を受けやすいリビングは、影響を受けにくい主寝室と比較すると昼夜の室温変動が大きくなっていた。また、1階北側ブース、2階南側ブースともに東部屋が最も換気量が多いと予想され、そのため室温変動が大きくなっていた。東部屋には、両ブースともに午前中の日射の影響を大きく受けていた。

夜間換気は、外気温度が室温より低い時間帯に行うのが最も効果的であり、夜間換気を行う時間によって夜間の室温低下の程度が異なることが確認できた。

1階北側ブースは、天井（2階の床）がコンクリートになっており、2階よりも周辺壁体の熱容量が大きい。そのため、2階南側ブースと比較すると昼夜の温度変動は小さく、熱容量の効果が確認された。

解析では、窓開放の時間帯の違いと熱容量の違いを検討した。

主寝室では、1階北側ブースおよび2階南側ブースともに、室温も平均放射温度も低く保たれていた。主寝室におけるPMVは、1階北側ブースでは無風時は1.0～1.25程度であり、やや暖かい環境にある。2階南側ブースでは常に1.5～2.0程度の環境であった。

窓開放は、夜間にのみ行った場合が日中・夜間ともに室温を低く保てることが分かった。特に、日中に窓開放を行う場合と比較すると、平均して0.4℃程度室温を低く保つことができる。また、窓開放は外気温度が室温よりも低くなる時間帯に行うことが効果的であることが確認できた。

熱容量がある場合は、主寝室においては、日中のピーク室温を0.4～0.6℃低く保つことができるが、夜間においては逆に0.4～0.5℃程度高くなる。日中に使う部屋については熱容量が大きく夜間換気を行うことが有効であるが、夜間に使う部屋に対しては利用に際し検討が必要であることが分かった。

4.4 第4章のまとめ

本章では、インドネシア・スラバヤに建つ実験住宅と、マレーシア・ペナンに建つ宿泊施設において、環境調整技術に関する実験と実測を行った結果を示した。

インドネシア・スラバヤの実験住宅では、建物構造および開口パターンの違いがおよぼす影響を実測によって確認した。さらに、解析を通して、日射遮蔽、夜間換気、熱容量の効果について検討した。

実験住宅では日射遮蔽が比較的良くなされていたため、さらに日射遮蔽を行った場合の改善効果は小さい。しかし、開口面積のより大きな住宅においては効果があると考えられる。

開口部の開閉パターンの違いによって、室内の温熱環境が大きく異なる。夜間換気は有効であり、夜間の温熱環境の改善のためには不可欠であることが分かった。夜間換気を行った上で、日中に開口部を閉鎖することによって、日中の室温を低く保つことができる。断熱性能が高い場合は日中に閉鎖するメリットがあるが、断熱性能が低い場合には、その効果は小さいことを解析により示した。夜間換気を行う場合には、熱容量の大きな構造を用いることによって、日中の室内をより良好に保つことができる。さらに、断熱を行う場合には、熱容量を持った材料の外側に断熱をしなければ、夜間の室温上昇を引き起こすことを明らかにした。

マレーシア・ペナンにおいては、熱容量の大きな建物を対象として、窓開放の影響を把握するための実験と解析を行った。周囲が部屋で囲まれた主寝室では外部の影響を受けにくく、日中の室温、平均放射温度も低く保たれていた。窓開放は、夜間にのみ行う方が日中・夜間ともに室温を低く保つことができる。特に、日中に窓開放を行う場合と比較すると、平均して 0.4℃程度室温は低く保たれる。熱容量が大きい場合は、主寝室においては、日中のピーク温度を 0.5℃程度低く保つことができるが、夜間においては逆に 0.4℃程度室温が高くなる。日中に使う部屋については熱容量が大きくし夜間換気を行うことが有効であるが、夜間に使う部屋に対しては、利用に際し検討が必要である。

参考文献

- 1 途上国建設技術開発促進事業（パッシブソーラーシステム）報告書 平成 10 年度、建設省、(社) 国際建設技術協会、平成 11 年 3 月
- 2 Sri Nastiti N. Ekasiwi, Irvansyah : The Effects of Roof Insulation to Indoor Temperature for Hot-Humid Tropical Buildings in Indonesia, Ecological Architecture and Environment in the Tropics, pp. 48-58
- 3 武政孝治、小玉祐一郎、布野修司、山本直彦、錦井修一、宇野朋子：インドネシア・スラバヤに建つエコハウスの温熱環境(2) 水循環放射冷却システムの効果について、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp. 419-420、1999 年
- 4 山本直彦、布野修司、小玉祐一郎：湿潤熱帯におけるパッシブシステム実験住宅建設の試み インドネシア・スラバヤ工科大学キャンパスにおけるエコ・ハウス、第 2 回アジアの建築交流国際シンポジウム 論文集、pp. 353-356、日本建築学会、1998 年 8 月
- 5 (株) ソフトウェアクレイドルの流体解析ソフト「STREAM」を使用している。
- 6 Sri Nastiti Nugrahani Ekasiwi : Airflow Pattern in Stack-Building Type for Tropical Region, Proceeding of 3rd International Seminar SUSTAINABLE, ENVIRONMENTAL ARCHITECTURE (SENVAR) 2002
- 7 辻原万規彦、中村泰人、田中稔、岡村圭子、梅宮典子：温暖多照地域における全蓋型アーケード内部の温熱環境の評価、日本建築学会計画系論文集、No. 514、pp. 43-50、1998 年 12 月
- 8 ASHRAE Handbook Fundamentals : chapter 8、1997 年
- 9 P. O. Fanger : Thermal Comfort、McGraw-Hill、1970 年
- 10 伊藤克三、中村洋、榎井美政、松本衛、横崎正也：大学課程 建築環境工学、pp. 153-154、オーム社、1978 年
- 11 空気調和・衛生工学会編：空気調和設備 計画設計の実務の知識、pp. 144-145、オーム社、1995 年

第 5 章 既存住宅の温熱環境改善案の提案

5.1 はじめに

5.2 室内温熱環境解析の概要

- (1) 解析対象住宅
- (2) 室内温熱環境解析の方法
- (3) 解析における入力データ
- (4) 解析に用いた物性値

5.3 戸建住宅（タイプ A）における解析

- (1) 外部環境の入力条件
- (2) 解析値と実測値の比較
- (3) 室内温熱環境の改善

5.4 戸建住宅（タイプ B）における解析

- (1) 外部環境の入力条件
- (2) 解析値と実測値の比較
- (3) 室内温熱環境の改善

5.5 戸建住宅（タイプ B）において冷房を行う場合の解析

- (1) 解析方法と外部環境の入力条件
- (2) 解析値と実測値の比較
- (3) 室内温熱環境の改善

5.6 第 5 章のまとめ

第5章 既存住宅の温熱環境改善案の提案

5.1 はじめに

第3章では、一般の住宅を対象として温熱環境調査の結果を基に、室内外の温熱環境について詳細な検討を行った。主に低所得者が居住している戸建住宅（タイプA）では、屋根の断熱性能が低く、これが日中に気温が上がる主な原因と考えられた。さらに、台所を増築することで室内が閉鎖的になり、日中、夜間ともに換気量が不足するために、室内の環境を悪化させていると推定された。実際、雨期には日中よりも夜間に不快だと感じている人の割合が多くなっており、夜間の改善が必要とされている。乾期には夜間に不快を感じる割合は減っているが、中所得者が居住している戸建住宅（タイプB）と比較すると、不快と感じている人の割合は多い。戸建住宅（タイプB）では、雨期、乾期ともに夜間に比べると日中に不快だと感じている人の割合の方が多かった。戸建住宅（タイプA）と比較すると室内環境は良好なものの、日中には室温は30℃を超えており暑い環境にある。夜間も、エアコンを使用していない住宅では29℃前後と暑い。夜間に不快と感じている人は比較的少ないものの、エアコンを所有している住宅では就寝時にエアコンをほぼ毎日使用しており、夜間における快適性が日中よりも強く求められていることが分かった。

第4章では、高温多湿気候下において有効と考えられる環境調整技術について、実験およびそれに基づく解析を通して検討した。まず、日中に室内温度を上げないためには日射遮蔽が不可欠であることを確認した。さらに、日中の室温をより低く保つには、夜間換気を行い躯体に蓄冷し、日中は換気量を減らすことが有効であることを明らかにした。その場合、躯体の熱容量を大きくするとより効果的である。

本章では、まず第3章の結果を基にして、現状の住宅の改善案を提示する。さらに第4章での結果を基に、夜間換気、日中閉鎖、熱容量を利用した躯体蓄冷を一般の住宅に適用した場合の効果について検討する。

5.2 室内温熱環境解析の概要

（1）解析対象住宅

ここで対象とする住宅は、第3章での分類（3.2（1））における2種類の住宅とする。温湿度測定の対象とした住宅は、床面積や間取り、構造などから、主に低所得者が使用していた戸建住宅（タイプA）と主に中所得者が居住している戸建住宅（タイプB）に分けられる。これらは、対象とした住宅地域においては典型的な住宅である。

図5-1に戸建住宅（タイプA）の平面図を示す。居間（部屋2）、寝室（部屋1、3）、台所（部屋4）とテラスで構成されている。床はコンクリートにモルタル仕上げ、外壁および間仕切り壁はコンクリ

ートブロック造にモルタル仕上げ、屋根はスレートである。台所の外壁は合板でできている。実際には部屋2の角にカマルマンディがあるが、計算を簡単にするために省略した。

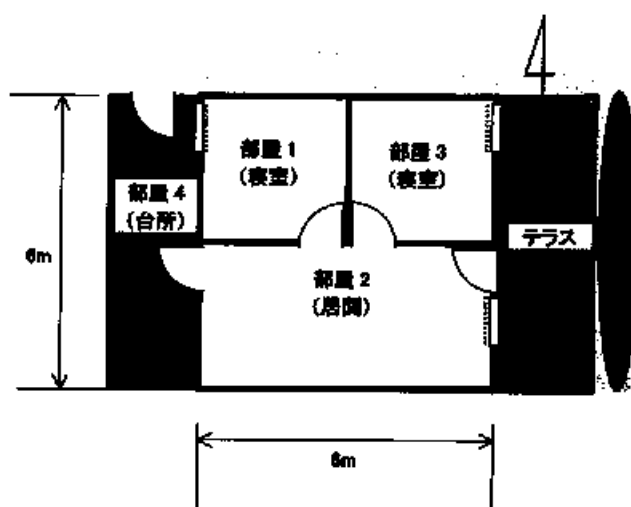


図 5-1 戸建住宅 (タイプ A) の平面図

図 5-2 に戸建住宅 (タイプ B) の平面図を示す。居間 (部屋2)、台所 (部屋1)、カマルマンディ (部屋4)、寝室 (部屋3、5) よりなる。さらに天井裏 (部屋6) を設けている。床はコンクリートにタイル仕上げ、外壁および間仕切り壁はレンガブロックモルタル仕上げ、天井はアスベスト、屋根はクレイタイルとなっている。

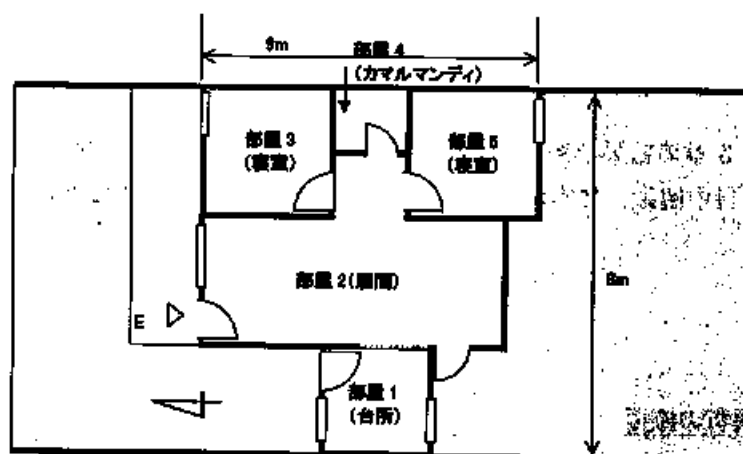


図 5-2 戸建住宅 (タイプ B) の平面図

(2) 室内温熱環境解析の方法

a) 室温温度の計算

室内へ流入する熱としては、①外壁・間仕切り壁・天井を通しての貫流熱、②外部との換気（あるいは漏気）により流入する熱、③室間の換気により流入する熱、④窓からの日射熱、⑤人体や照明器具などの内部発熱、を考慮した。また、冷房使用時には、⑥エアコンによって除去される熱量を考慮した。

初期値としては、全ての箇所において期間中の外気温度の平均値を与えた。外気条件として使用している10日間の実測結果を繰り返し用いて150日の計算を行い、最後の10日の結果を解析結果とした。150日で地盤中の温度は周期的定常となっていると見なせる。

室空気の熱収支式：

$$c\gamma_{air}V_{room1}\frac{\partial T}{\partial t}=Q_{wall}+Q_{ventilation(outside)}+Q_{ventilation(room)}+Q_{solar}+Q_{human}+Q_{AC}$$

室内へ流入する熱量：

① 壁表面からの流入熱： Q_{wall}

$$Q_{wall}=\alpha(T_{wallsurface}-T_{room1})\cdot A_{wall}$$

② 外部との換気（漏気）により流入する熱： $Q_{ventilation(outside)}$

$$Q_{ventilation(outside)}=(n/3600)\cdot V_{room1}\cdot(T_{outside}-T_{room1})$$

③ 室間の換気により流入する熱： $Q_{ventilation(room)}$

$$Q_{ventilation(room)}=(n/3600)\cdot V_{room1}\cdot(T_{room2}-T_{room1})$$

④ 開口部を通して流入する日射： Q_{solar}

$$Q_{solar}=A_{window}\cdot SC\cdot J_{solar}$$

⑤ 人体からの発熱： Q_{human}

$$Q_{human}=58.2\cdot A_{human}\cdot N_{human}$$

⑥ エアコンによる供給熱量： Q_{AC}

$$Q_{AC}=V_{supply}(T_{supply}-T_{room1})$$

Q : 熱流 [W] (添え字は、*wall* : 壁表面から室内へ、
ventilation(outside) : 外気との換気、*ventilation(room)* : 隣室との換気、
solar : 開口部を通しての射入日射、*human* : 人体発熱、
AC : エアコン除去熱量を表す。)

T : 温度 [°C] (添え字は、*room1* : 解析対象室、*room2* : 隣室、*outside* : 外気、
wallsurface : 壁室内側表面、*supply* : エアコン供給を表す。)

$c\gamma_{air}$: 空気の容積比熱 [J/m³K]

V_{room1} : 解析対象室の室容積 [m³]

t : 時間変数 [s]

α	: 熱伝達率 [W/m ² K]
A	: 壁面積 [m ²] (添え字は、 <i>wall</i> : 壁、 <i>window</i> : 窓、 <i>human</i> : 人体表面積)
SC	: 日射遮蔽係数 [-]
J_{solar}	: 日射量 [W/m ²]
n	: 換気(漏気)回数 [回/h]
N_{human}	: 在室人数 [人]
V_{supply}	: エアコンの吹き出し風量 [m ³ /s]

室内へ流入する水分としては、①外気との換気(あるいは漏気)により流入する水分、②室間の換気により流入する水分、③人体からの発生分を考慮した。また、冷房使用時には④エアコンによって除去される水分量を考慮した。なお、⑤壁から発生する水分については、以下で示すが、5.3~5.5 節の数値解析では考慮していない。今後、壁体内部での水分移動を考慮して検討をする場合のために記述しておく。

室空気の水分収支式:

$$\gamma \cdot V_{room1} \frac{\partial X}{\partial t} = Q_{x_{ventilation(outside)}} + Q_{x_{ventilation(room)}} + Q_{x_{human}} + Q_{x_{AC}} + Q_{x_{wall}}$$

室内へ流入する水分量:

① 外部との換気(漏気)により流入する水分: $Q_{x_{ventilation(outside)}}$

$$Q_{x_{ventilation(outside)}} = (n/3600) \cdot V_{room1} \cdot \gamma \cdot (X_{outside} - X_{room1})$$

② 室間の換気により流入する熱: $Q_{x_{ventilation(room)}}$

$$Q_{x_{ventilation(room)}} = (n/3600) \cdot V_{room1} \cdot \gamma \cdot (X_{room2} - X_{room1})$$

③ 人体からの発熱: $Q_{x_{human}}$

$$Q_{x_{human}} = 0.083 \cdot N_{human}$$

④ エアコンによる供給熱量: Q_{AC}

$$Q_{x_{AC}} = V_{supply} (X_{supply} - X_{room1})$$

⑤ 壁表面からの流入水分: $Q_{x_{wall}}$: (ここでは0とした。)

$$Q_{x_{wall}} = \alpha (X_{wallsurface} - X_{room1}) \cdot A_{wall}$$

Q_x	: 水分流 [kg/s] (添え字は、 <i>wall</i> : 壁表面から室内へ、 <i>ventilation(outside)</i> : 外気との換気、 <i>ventilation(room)</i> : 隣室との換気、 <i>human</i> : 人体発熱、 <i>AC</i> : エアコン除去熱量を表す。)
X	: 絶対湿度 [kg/kg(DA)] (添え字は、 <i>room1</i> : 解析対象室、 <i>room2</i> : 隣室、 <i>outside</i> : 外気、 <i>wallsurface</i> : 壁室内側表面、 <i>supply</i> : エアコン供給を表す。)
α'	: 湿気伝達率 [kg/m ² (kg/kg(DA))]
γ	: 空気の比重量 [kg(DA)/m ³]

b) 壁体内温度の計算

壁、屋根、天井、地盤内部温度の算出では 1 次元の熱伝導方程式を解いた。地盤深部の温度境界条件には第一種境界条件を用い、床構造材の下から 5m のところを期間平均温度に設定した。

5.3～5.5 節の数値計算では、壁体内の水分移動は考慮していない。しかし、解析結果を検討した結果、高温多湿気候下においては水分の移動や壁の吸放湿性を考慮することは重要であると認識した。今後の発展のために水分移動を考慮して基礎式を示すこととした。

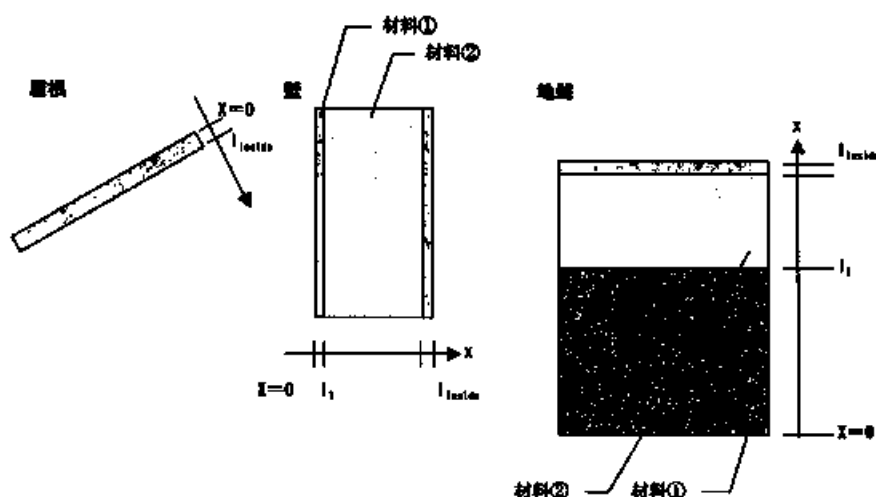


図 5-3 壁・屋根および地盤の構造

壁体内の熱収支式：

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + r\alpha'(X - X_i)$$

材料空隙部の水蒸気の収支式：温度勾配による水蒸気の移動はきわめて小さいため無視している。

$$C'\gamma' \frac{\partial X}{\partial t} = \lambda' \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \alpha'S(X_i - X)$$

材料実質部を流れる毛管水収支式：

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_{hw} \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \alpha'_i S(X - X_i)$$

液水の移動を考慮しない場合、 $\lambda'_{hw} = \lambda'_{\theta} = 0$ とおけ、実質部表面の絶対湿度 X_i と空隙部の絶対湿度 X が瞬時に平衡するという局所平衡を仮定すると $\alpha'_i = \infty$ となり、以下のようにまとめられる。

$$C'\gamma' \frac{\partial X}{\partial t} = \lambda' \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} - \frac{\partial w}{\partial t}$$

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + r \frac{\partial w}{\partial t}$$

X	: 材料内空隙の絶対湿度 [kg/kg(DA)]
X_i	: 材料内実質部表面の絶対湿度 [kg/kg(DA)]
w	: 材料内の容積含水率 [kg/m ³]
c	: 対象材料の比熱 [J/kgK]
C'	: 対象材料の空隙率 [m ³ /m ³]
γ	: 対象材料の乾燥時の材料比重量 [kg/m ³]
γ'	: 対象材料の空気の比重量 [kg/m ³]
λ	: 対象材料の熱伝導率 [W/mK]
λ'	: 対象材料の水蒸気移動に対する湿気伝導率 [W/m(kg/kg(DA))]
$\lambda'_{i\theta}$: 実質部に吸着された水・毛管水などの温度勾配に対する湿気伝導率 [W/mK]
λ'_{hw}	: 実質部に吸着された水・毛管水などの含湿率勾配に対する湿気伝導率 [W/m(kg/kg(DA))]
r	: 吸着熱 [J/kg]

壁、屋根の外気側表面での境界条件：

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_{outside} \left(\left(T_{out} + \frac{aJ}{\alpha_{outside}} \right) - T \Big|_{x=0} \right)$$

$$-\lambda \frac{\partial X}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha'_{outside} (X_{out} - X \Big|_{x=0})$$

壁、屋根および地盤の室内側表面での境界条件：

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l_{inside}} = \alpha_{inside} (T_{in} - T \Big|_{x=l_{inside}})$$

$$-\lambda \frac{\partial X}{\partial x} \Big|_{x=l_{inside}} = \alpha'_{inside} (X_{in} - X \Big|_{x=l_{inside}})$$

壁および地盤内など多層壁体の異種材料間の境界条件：

$$T_1 = T_2, \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=l_1} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=l_1}$$

$$X_1 = X_2, \quad -\lambda'_1 \frac{\partial X_1}{\partial x} \Big|_{x=l_1} = -\lambda'_2 \frac{\partial X_2}{\partial x} \Big|_{x=l_1}$$

T	: 温度 [℃] (添え字は、 <i>out</i> : 外気温度、 <i>in</i> : 室内温度、1, 2: 材料 1, 2 境界温度)
X	: 絶対湿度 [kg/kg(DA)] (添え字は、 <i>out</i> : 外気湿度、 <i>in</i> : 室内湿度、1, 2: 材料 1, 2 境界湿度)
J	: 壁体への入射日射量 [W/m ²]
s	: 日射吸収率 [-]
α	: 壁体表面での熱伝導率 [W/m ² K] (添え字は、 <i>outside</i> : 外気側、 <i>inside</i> : 室内側)
α'	: 壁体表面での湿気伝導率 [W/m ² (kg/kg(DA))] (添え字は、 <i>outside</i> : 外気側、 <i>inside</i> : 室内側)

地盤深部での境界条件：

$$T|_{x=0} = T_{bottom}, \quad X|_{x=0} = X_{bottom}$$

T_{bottom} : 地盤深部 (5m) の温度 [℃]

(3) 解析における入力データ

外部境界条件となる外界気象条件としては、2001 年 2 月 17～23 日の測定値を用いた。図 5-4 および図 5-6 に、入力条件として用いた外気温湿度および日射量を示す。天空日射量と直達日射量は、Berlage 式と Bouguer の式を用いて直散分離した後、各壁面の値を計算した。

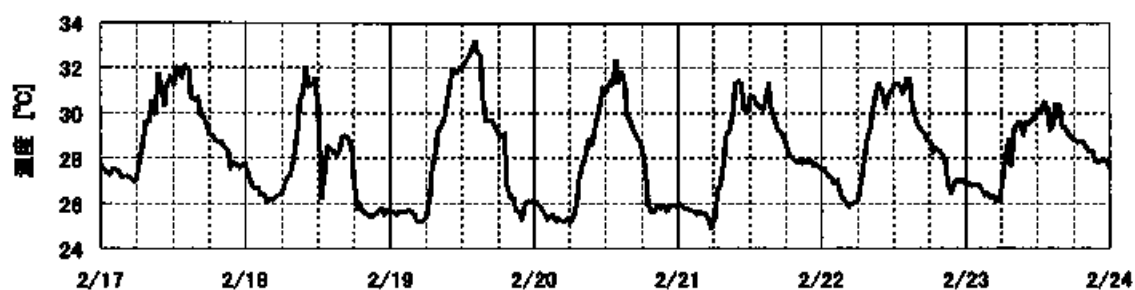


図 5-4 入力外気温湿度

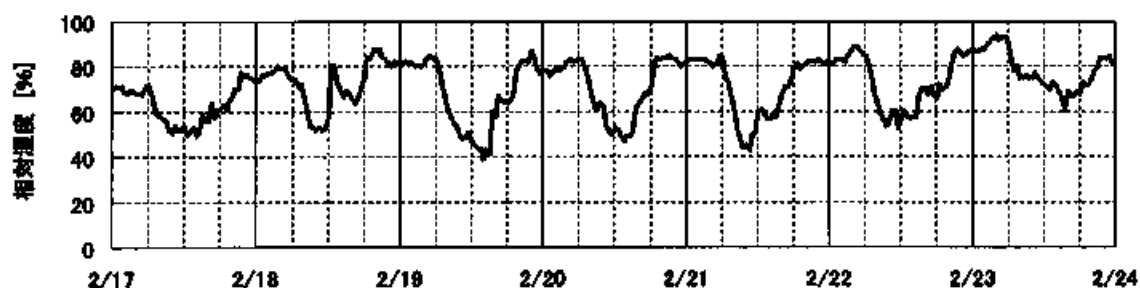


図 5-5 入力相対湿度

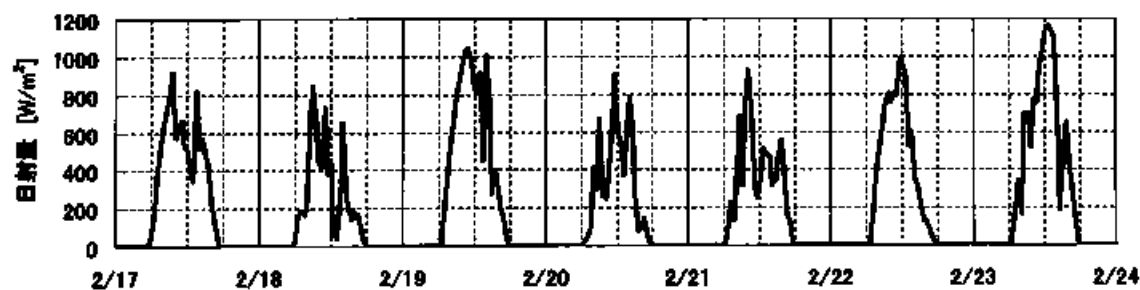


図 5-6 入力日射量

(4) 解析に用いた物性値

計算に用いた物性値を、表 5-1 に示す。

表 5-1 解析に用いた物性値^{1) 2)}

	熱伝導率 [W/mK]	熱容量 [kJ/m ³ K]
コンクリート	1.60	1946
モルタル	1.40	2282
アスベスト (屋根材)	0.92	915
タイル	1.30	2616
土壌	0.63	1578
空気	0.0204	1.165
合板	0.186	715.81
レンガ	0.310	1337.6
断熱材 (グラスウール 3 号 96K)	0.045	84

5.3 戸建住宅（タイプA）における解析

（1）外部環境の入力条件

第2章で示した温湿度測定結果より判断し、戸建住宅（タイプA）のうち温熱環境が最も劣悪であった住宅を対象とする。居間、寝室2室、台所での温度および相対湿度を解析した。この住宅の構造を、表5-2に示す。

まず、解析の精度確認のために、計算で得られる居間の温湿度を測定結果と比較する。その一致を確認した後、作成したシミュレーションプログラムを用いて、住宅に改善を加えた場合にどの程度室内温熱環境が改善されるかを明らかにする。

表5-2 戸建住宅（タイプA）の基本的な壁体構造

	材料	仕上げ	厚さ [mm]
屋根	アスベスト	なし	25
壁	コンクリートブロック	モルタル	120（仕上げ10）
天井			
床	コンクリート	モルタル	100（仕上げ10）

各部屋の外気との換気回数および他の部屋との換気回数を表5-3に示す。外気との換気回数は、外部に面していない部屋1（寝室）では0回/hとした。部屋3（寝室）では、外気に面する窓はあるがカーテンが閉められていたことから、部屋2（居間）では台所があるために外気との換気が起きにくいことを考えて、換気量を少なく設定している。部屋4では台所の扉が常に開放されていたことと、台所自体が気密性の低い構造となっていたことから、他の部屋に比べて外気との換気量を大きく設定した。夜間は日中の換気量の約半分とした。窓や壁に当たる日射量は、植栽や庇によって遮られる部分を考慮した。

表5-3 各室間の換気回数（日中および夜間）

	外気との換気回数 [回/h]		他室との換気回数 [回/h]	
	日中	夜間	日中	夜間
部屋1（寝室）			3	2
部屋2（居間）	4	2	6	3.5
部屋3（寝室）	2	1	4	2
部屋4（台所）	8	4	4.2	3

(2) 解析値と実測値の比較

図 5-7 に解析結果を示す。また、その時の室内への流入熱流の内訳を図 5-8 および図 5-9 に、部屋 2 (居間) の床、天井、壁の各表面温度を図 5-10 に示す。午前 6:00 前後の温度が実測値よりも多少高い場合があるが、計算値は実測値とおおむね一致しており、本シミュレーションプログラムの妥当性が示されたと言えよう。

部屋 2 (居間) への流入熱流の内訳を検討する。日中は、屋根からの熱流入が最も大きく、次いで日射がある (図 5-8、図 5-9)。午前中に東側の扉と窓から直達日射と天空日射が入り、午後には天空日射が入ってくる。植栽と庇によって日射の大部分は遮られるために、室内に流入する日射による熱流は午前 8:00 前後は 0.3kW 程度であり、屋根からの熱流 (19 日 11:00 で 22kW) と比較すると大きくない。屋根は熱的に最も弱い部位であり、日中の熱負荷の大部分 (ほぼ 99%) が屋根からの熱流である。同時に、日中の天井表面温度は 50℃ にも達し (図 5-10)、天井面からの放射も室内環境を悪化させる原因となっている。

以上より、戸建住宅 (タイプ A) においては、まず屋根の断熱を強化する必要があると言える。現状では、室温は常に外気温度よりも高いので、室温を下げるためには外気との換気が有効である。

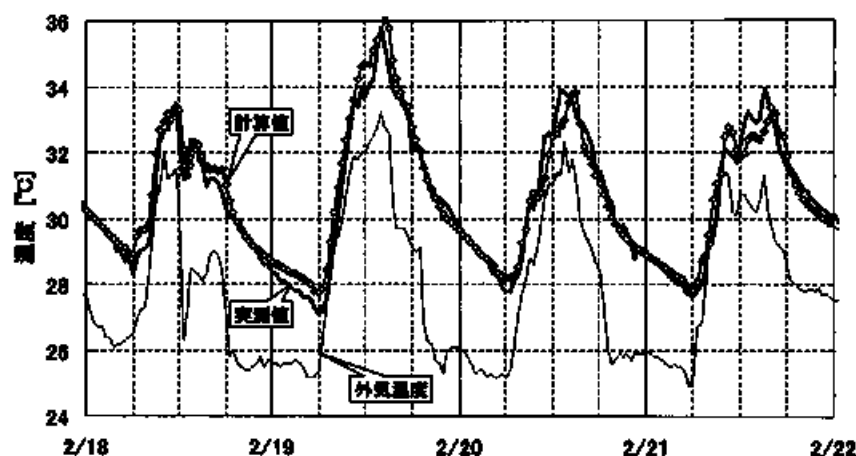


図 5-7 実測値と解析値の比較 (部屋 2 (居間))

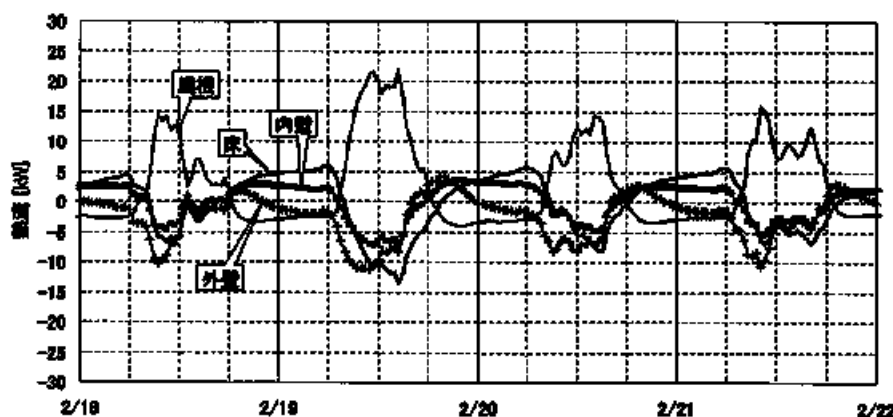


図 5-8 部屋 2 (居間) への熱流 (屋根・外壁・内窓・床からの熱流)

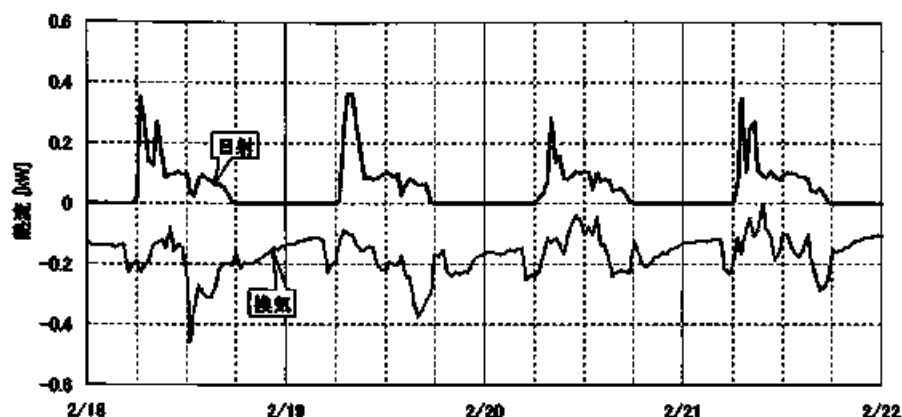


図 5-9 部屋 2（居間）への熱流（日射と換気（漏気）による熱流）

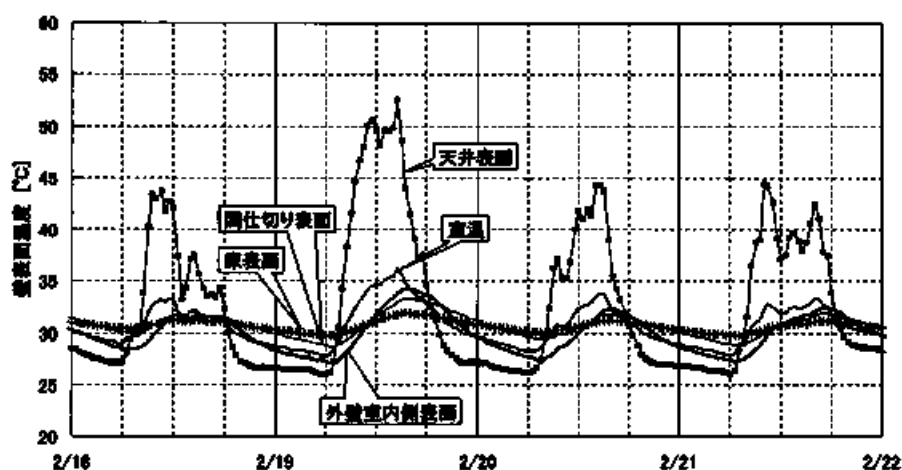


図 5-10 天井、間仕切り、外壁、床の部屋 2（居間）室内側表面温度

(3) 室内温熱環境の改善

a) 天井を張った場合（改善ケース 1）

この戸建住宅において、天井を張ることの効果を調べる。天井にはアスベストを使用し、天井裏と外気との換気回数を終日 0.5 回/h とする。現状での解析結果と天井を張った場合の部屋 2（居間）の室温を図 5-11 に、室内各表面温度を図 5-12 に示す。

天井を張ることによって、天井（もしくは屋根）からの熱流が減少する（図 5-16）。天井面からの熱流を比較すると、日中に天井（もしくは屋根）から流入する熱量は 88.7% 程度になる。その結果、天井が無い場合の最高室温は 36.25℃であったが、天井を張ることにより 33.76℃となり 2.49K 低下する（図 5-11）。また天井表面温度は、改善前には日中平均表面温度が 38.61℃、最高値は 53.07℃であったものが、天井を張ることにより平均値が 33.43℃、最高値は 39.81℃まで低下し（図 5-12）、天井からの放射も減少する。

さらに、天井裏に断熱材を貼付した場合を考える。断熱材はグラスウールとした。熱抵抗は断熱材

が1cm増すごとに0.22mK/W増える。計算結果を図5-13～図5-15および表5-4に示す。1cm貼付すると最高室温は33.22℃になる。断熱材を3cm、5cmと増やした場合には32.63℃、32.30℃となっている。また、日中（午前6:00～18:00）の平均室温は、改善前は32.07℃であったものが天井を張ることにより30.92℃と1℃低下する（図5-13、図5-14および表5-4）。断熱材を1cm貼付すると日中の平均室温度は30.66℃、3cmの場合は30.63℃、5cmでは30.19℃となる。天井表面温度は、断熱材を加えることによって、天井のみの場合よりも最高で2～5K程度、平均でも0.8～2.3K低下する（図5-16および表5-4）。ただし、夜間については天井を設けることによって室温は平均的に約1.6K程度、断熱を加えることによって1.8K程度上昇する（図5-13）。夜間の換気量増加などにより室内温度を下げる工夫が必要と言える。

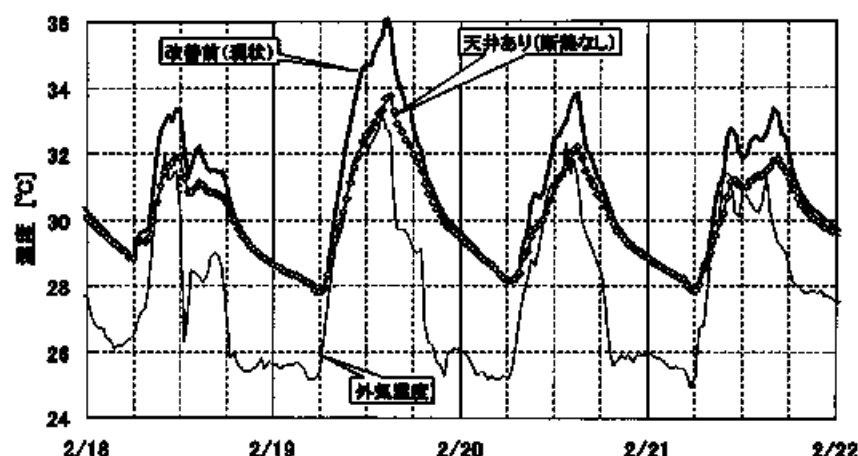


図5-11 部屋2（工房）の温度（改善ケース1：天井を張った場合）

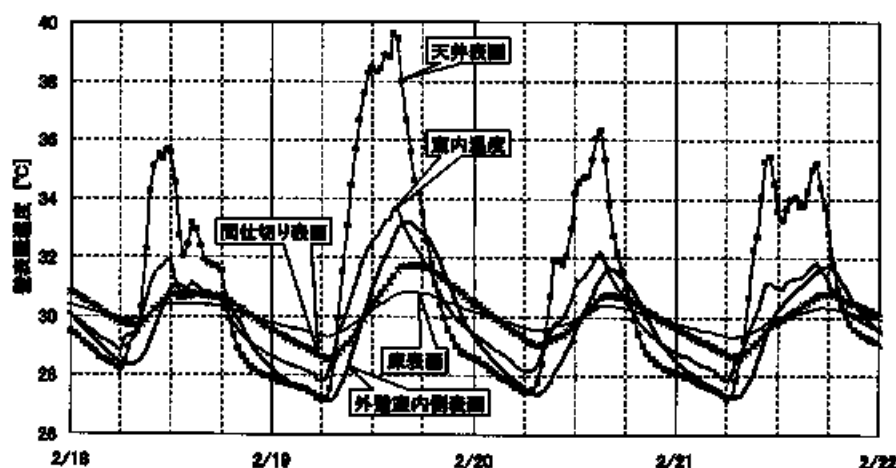


図5-12 天井、間仕切り、外壁、床の部屋2（工房）側表面温度（改善ケース1）

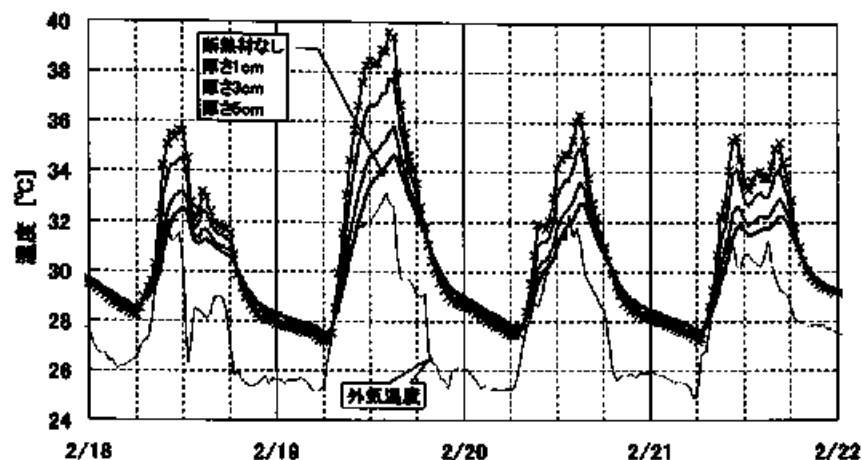


図 5-13 部屋 2（居間）の温度（改善ケース 1：天井を張り、天井裏に断熱を設けた場合）

表 5-4 部屋 2（居間）室温と天井表面温度（改善ケース 1：天井を張り、天井裏に断熱を設けた場合）

		室温 [°C]		天井（屋根）表面温度 [°C]	
		日中平均値	最高値	日中平均値	最高値
外気		29.45	33.50		
改善前		32.07	36.25	38.61	53.07
天井のみ		30.92	33.76	33.43	39.81
断熱材の厚さ	1cm	30.66	33.22	32.61	37.93
	3cm	30.36	32.63	31.68	35.84
	5cm	30.19	32.30	31.15	34.73

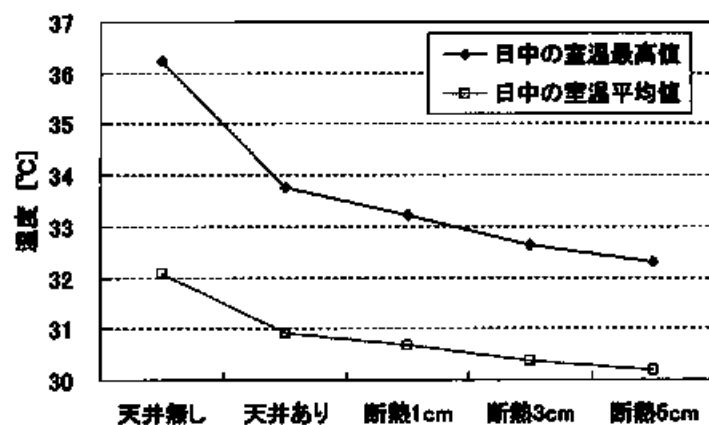


図 5-14 部屋 2（居間）の温度の比較（改善ケース 1）

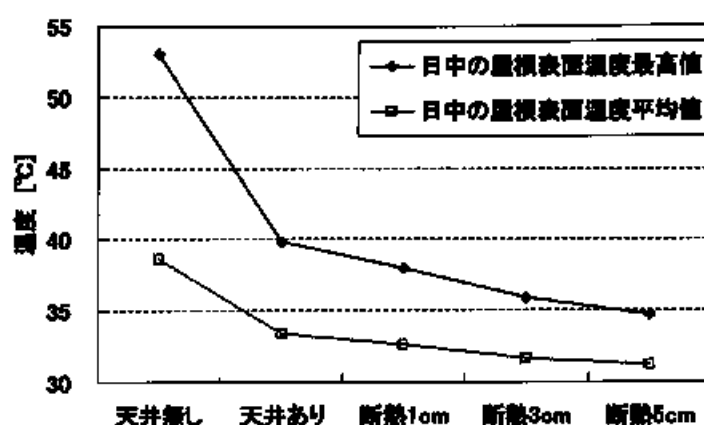


図 5-15 部屋 2（居間）の天井表面温度の比較（改善ケース 1）

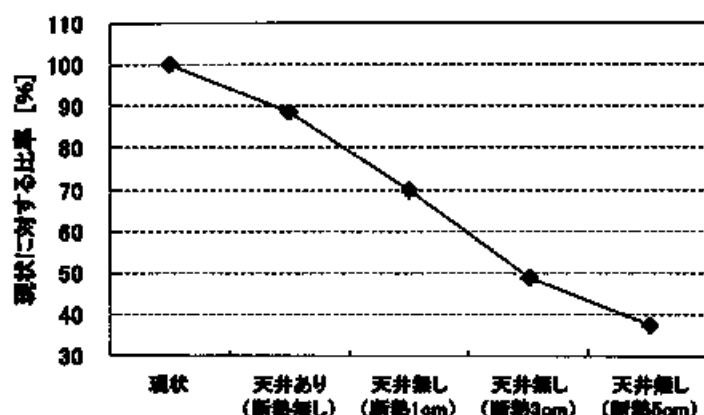


図 5-16 天井（屋根）から部屋 2（居間）への熱流：現状との比較（改善ケース 1）

b) 屋根に断熱をした場合（改善ケース 2）

改善ケース 2 として、屋根内側を断熱した場合について考える。断熱材はグラスウールとする。例えば、屋根の熱抵抗はスレートのみ $0.038 \text{ m}^2\text{K/W}$ から、グラスウールを加えることで $0.7 \text{ m}^2\text{K/W}$ と 18.4 倍になる。部屋 2（居間）の室温の解析結果を図 5-17 に、屋根の室内側表面温度を図 5-18 に、改善無しの場合の結果と比較して示す。また、屋根からの熱流の現状からの削減率を図 5-19 に示す。

屋根からの熱流は改善無しの場合と比較すると、屋根室内側に 1cm 断熱材を貼付した場合は 69%、3cm では 42%、5cm では 31% となる。表 5-5 に断熱材の厚さを変えた場合の最高室温と平均室温を示す。部屋 2（居間）の室温は、改善前は 36.25°C であったものが、断熱材を 1cm 貼付すると 34.34°C となる。断熱材を 3cm にすると、最高室温は 32.76°C となり、天井を張った場合（断熱無し）よりも 6.7°C 低くなる（表 5-5）。平均室温も、断熱材 1cm の貼付で改善前よりも 1°C 程度低下する。ただし、夜間については改善ケース 1 と同様に改善前よりもやや上昇している。

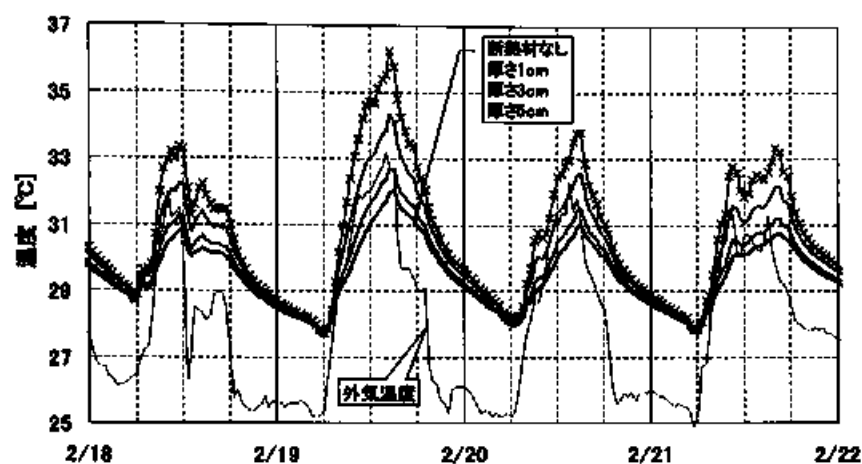


図 5-17 部屋 2（居間）の温度（改善ケース 2：屋根下に断熱材を張った場合・天井なし）

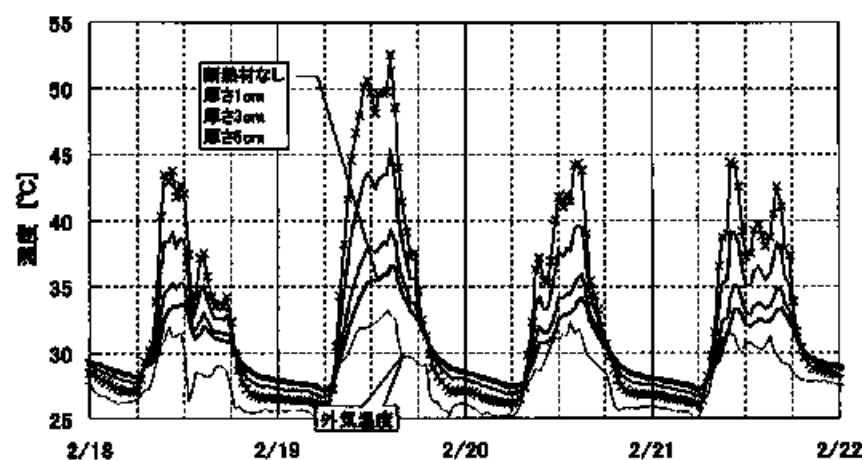


図 5-18 天井表面温度（改善ケース 2：屋根下に断熱材を張った場合・天井なし）

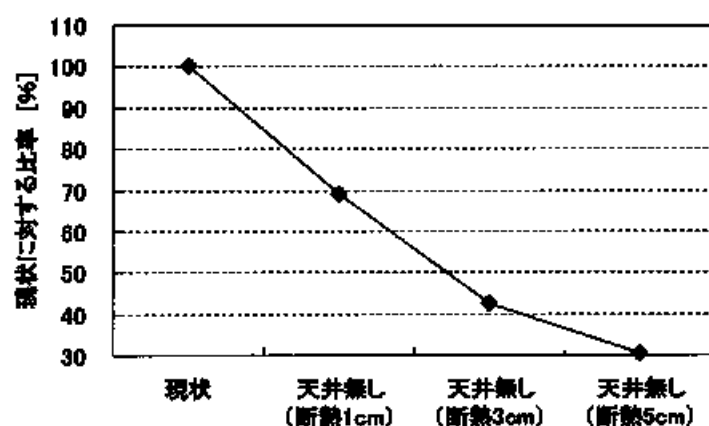


図 5-19 屋根から部屋 2（居間）への熱流：現状との比較（改善ケース 2）

表 5-5 断熱材の厚さを変えた場合の部屋 2 (居間) の室温 (天井無し、屋根下を断熱)

		室温 [℃]		天井 (屋根) 表面温度 [℃]	
		日中平均値	最高値	日中平均値	最高値
外気		29.45	33.50		
改善前		32.07	36.25	38.61	53.07
断熱材の厚さ	1cm	31.19	34.34	45.35	35.66
	3cm	30.40	32.76	39.34	33.12
	5cm	30.03	32.06	36.68	31.97
天井のみ (断熱無し)		30.92	33.76	33.43	39.81

図 5-20 に天井を張った上で断熱材を用いた場合と、屋根室内側に断熱材を用いた場合の結果を示す。断熱材が 1cm～3cm 未満では、天井を張った上で断熱材を貼付する方が効率はよい (図 5-20)。しかし、断熱材厚さが 3cm を超えると、天井無しの方が僅かではあるが室温をより低下させている。その原因としては、まず、天井を張ることにより室容積が減り、天井からの熱流の影響を大きく受けるようになったこと (室容積と屋根面天井面からの熱流の関係) が考えられる。また、小屋裏と外気の換気回数は 2 回/h としており、小屋裏と室内とは 0.5 回/h としている。この場合、屋根面に日射が当たると小屋裏の温度は外気温度よりも、断熱が 3cm の場合で平均 7.8K、断熱 5cm の場合は 8.9K 程度高くなっている。最高値では断熱 3cm の場合で 16K、断熱 5cm の場合は 19K 程度高くなっている (図 5-21)。断熱材を張ることで小屋裏内の温度が高くなり、室内への換気による熱流入が増えたためである。

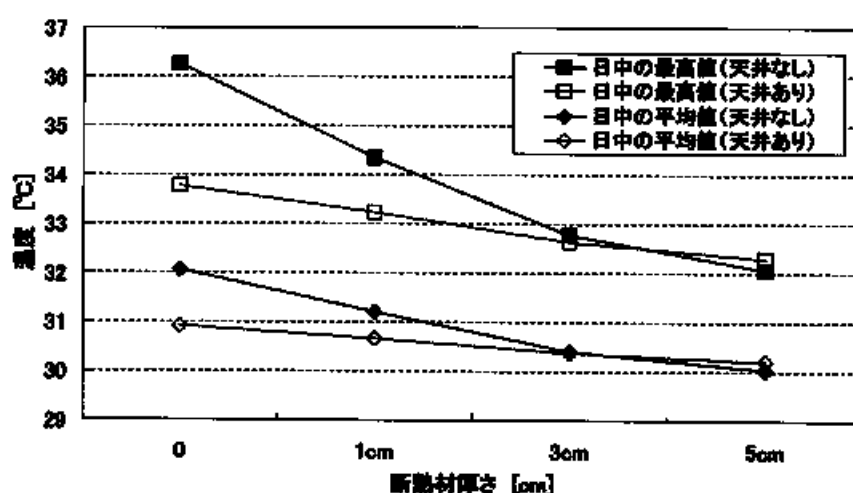


図 5-20 部屋 2 (居間) での日中の室温の最高値と平均値

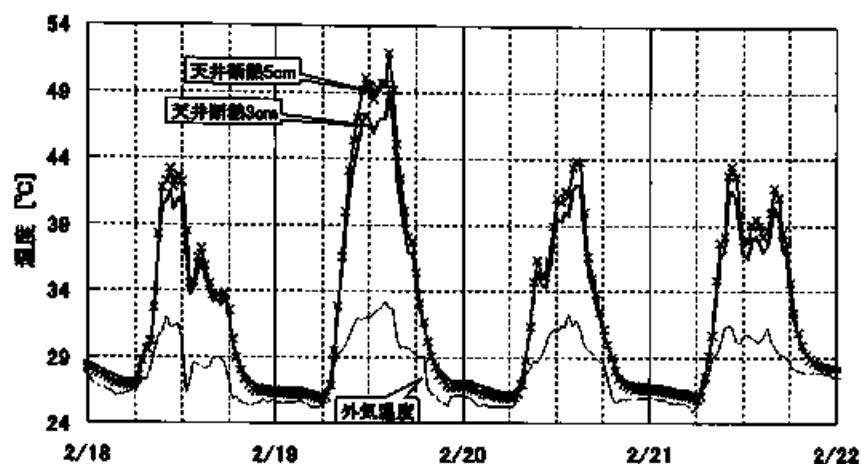


図 5-21 小屋裏の温度（天井裏断熱が 3cm と 5cm の場合）

c) 換気量を増やした場合（改善ケース 3）

換気の効果を知るために、換気量のみを増やした場合について検討する。日中・夜間ともに換気量を 2 倍、3 倍にした場合の結果を図 5-22 および表 5-6 に示す。

戸建住宅（タイプ A）では、日中・夜間ともに室温は外気よりも高くなっているため、換気量を増やせば室温は下がる。換気量を 2 倍にした場合には、日中の平均室温は改善前に比べて 0.5K 低下し、換気量を 3 倍にすると平均室温は 0.84K 低下する。最高室温でも、それぞれ 0.55K、0.94K の低下が見られる。夜間も日中同様に、現状と比較してそれぞれ 0.45K、0.76K の平均室温の低下となっている。断熱性の低い建物では、換気量の確保が重要であると言える。

部屋 2（居間）での換気量を増やすためには、部屋 1（台所）と部屋 2（居間）との間の通風経路を確保しなくてはならない（図 5-1）。

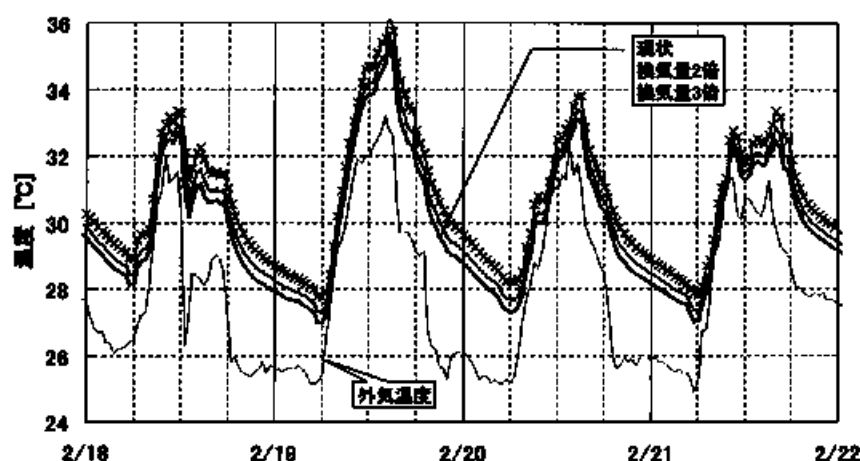


図 5-22 外気および各部屋間の換気量を変えた場合（天井無し、屋根断熱無し）（改善ケース 3）

表 5-6 外気および各部屋間の換気量を変えた場合の部屋 2 (居間) の室温 (天井無し、屋根断熱無し)

	平均室温 (日中) [℃]	平均室温 (夜間) [℃]	最高室温 [℃]
現状 (改善前)	32.07	29.69	36.25
換気回数 2 倍	31.58	29.24	35.70
換気回数 3 倍	31.24	28.93	35.31

d) 天井を設けた上で、換気量を変更した場合 (改善ケース 4)

現状では、屋根からの熱流が室温上昇の最も大きな原因となっている。換気回数を増やせば室温は下がるが、屋根の断熱を行うことが環境改善のためには最も有効であろう。

従って、次に天井および天井裏に 1cm の断熱材を設けた上で、換気量を増やした場合について検討する。換気パターンとしては、通常のパターン (換気パターン 1: 日中換気+夜間閉鎖)、日中も夜間も換気を行うパターン (換気パターン 2)、夜間のみ換気を行うパターン (換気パターン 3)、夜間換気を 2 倍にする (換気パターン 4) の 4 通りを考えた。日中・夜間ともに、換気を行う場合の換気回数は、表 5-7 のように設定した。

表 5-7 各室間の換気回数 (日中/夜間)

	外気との換気回数 [回/h]		他室との換気回数 [回/h]	
	日中	夜間	日中	夜間
部屋 1 (寝室)	0	0	3	2
部屋 2 (居間)	4	2	6	3.5
部屋 3 (寝室)	2	1	4	2
部屋 4 (台所)	8	4	4.2	3

室温の解析結果を図 5-23 および表 5-8 に示す。日中の平均室温の差は小さい。平均室温が最も低くなるのは、終日換気を行うパターン 2 である。その場合でも平均室温は外気の平均と比べると 0.11K 程度高くなっており、1cm 程度の断熱であれば、換気量は終日大きい方がよいことが分かる。夜間に換気を行った場合 (パターン 2) は、行わない場合 (パターン 1) に比べて夜間の平均室温は 0.33K 低下する。

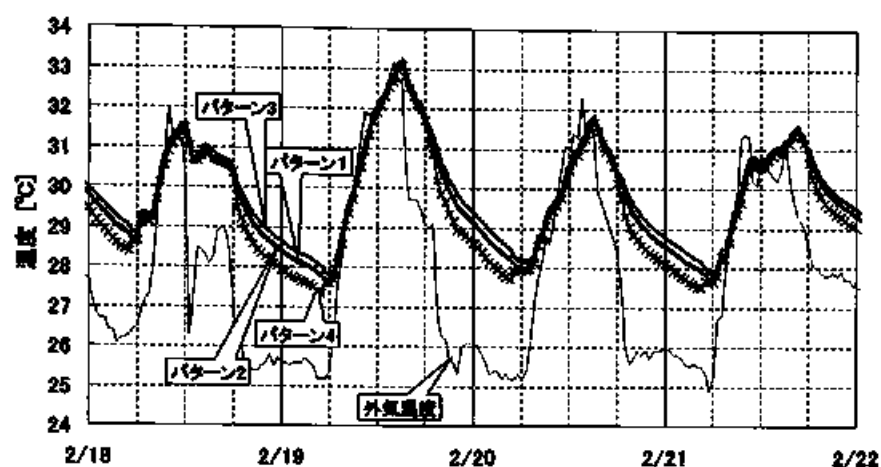


図 5-23 換気量を変えた場合（天井あり、屋根断熱 1cm）

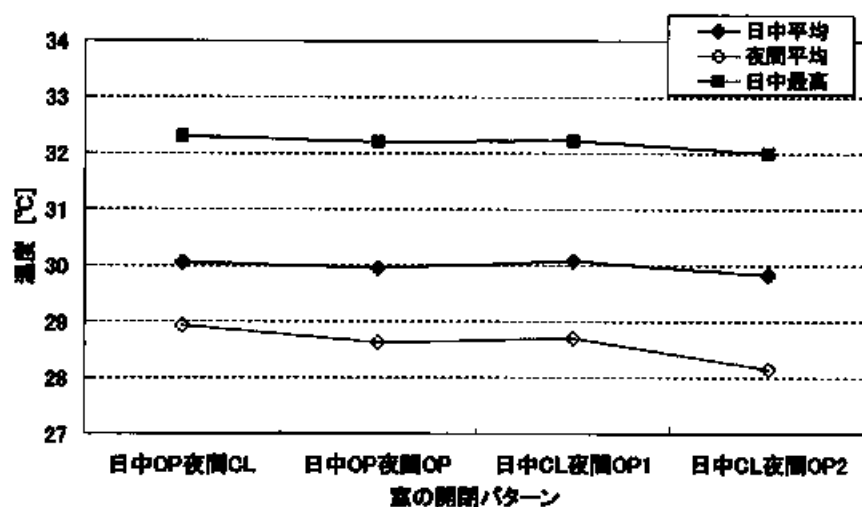


図 5-24 部屋 2（居間）の最高室温と日中と夜間の平均温度

表 5-8 外気および各部屋間の換気量を変えた場合の部屋 2（居間）の室温（天井あり断熱 1cm）

パターン	日中平均室温 [°C]	夜間平均室温 [°C]	最高室温 [°C]
換気パターン 1：日中換気＋夜間閉鎖	32.13	29.75	36.31
換気パターン 2：日中換気＋夜間換気	30.66	29.42	33.22
換気パターン 3：日中閉鎖＋夜間換気	30.57	29.20	33.14
換気パターン 4：日中閉鎖＋夜間 2 倍	30.73	29.28	33.26
外気	30.55	28.87	33.10

5.4 戸建住宅（タイプB）における解析

(1) 外部環境の入力条件

戸建住宅（タイプB）のうち、代表的な住宅の温熱環境解析を行う。居間、寝室2室、台所、カマルマンディの温度および絶対湿度を解析した（図5-2）。まず、解析モデルの精度確認のために、居間および寝室での測定結果との比較を行った。その後、戸建住宅（タイプA）と同様に、住宅に改善を加えた場合にどの程度室内温熱環境が改善されるかを検討する。

この住宅の壁体構造を表5-9に示す。

表5-9 戸建住宅（タイプB）の壁体構造

	材料	仕上げ	厚さ [mm]
屋根	クレイタイル	なし	30
壁	レンガ	モルタル	120（仕上げ10）
天井	アスベスト	なし	10
床	コンクリート	モルタル	100（仕上げ10）

各部屋の外気との換気回数、他の部屋との換気回数を表5-10に示す。部屋3（寝室）や部屋5（寝室）では、部屋2（居間）よりも外部に面した開口部の面積が小さいので、換気量を少なく設定している。窓は5:00～18:00は開いているとした。窓を閉じている場合の換気量は、窓を開けている場合の約半分とした。窓や壁に当たる日射量の算定においては、植栽や庇によって遮られる部分を考慮した。

戸建住宅（タイプB）は、戸建住宅（タイプA）と比較すると窓が大きく開放的なため、その換気量は戸建住宅（タイプA）の倍程度とした。

表5-10 各室間の換気回数（開口部を開けている場合／開口部を閉じている場合）

	外気との換気回数 [回/h]		他室との換気回数 [回/h]	
	開	閉	開	閉
部屋1（台所）	12	8	40	20
部屋2（居間）	12	8	19	10
部屋3（寝室）	8	4	5.7	2.8
部屋4（カマルマンディ）	2	1	8.5	8.5
部屋5（寝室）	8	4	5.7	2.8

(2) 解析値と実測値の比較

解析値と実測値を比較した結果を図 5-25～図 5-28 に示す。部屋 2 (居間) の温度の解析値と測定値を比較すると、午前中は解析値の方が測定値よりも高くなっているが (図 5-25)、解析値は測定値をおおむね再現できている。ただ、2 月 18 日の午後のように、外気温度が急激に下がった場合には、解析値は測定値を再現できていない。また、2 月 21 日午前 6:00 頃の室温低下も再現できていない。居住者はこの時点で窓を開放したと推定される。すなわち、窓を開放した場合の換気量は日中の換気量よりも多いと考えられるが、解析では日中は換気量を一定にしているために、このような結果となったものと考えられる。部屋 3 (寝室) 温度の解析値も (図 5-26)、部屋 2 (居間) 同様に温度が急激に下がった場合には、実測値を再現できていないが、それ以外では日中の室温、夜間の室温ともにおおむね再現できている。

絶対湿度 (図 5-27、図 5-28) は、部屋 2 (居間)、部屋 3 (寝室) とともに外気の変動に追従した変化を示しており、従って室内の実測値が外気の測定値に近い場合には近い値を示すが、それ以外の場合には再現できていない。特に、日中のように外気との換気量が多い場合には、実測値は外気よりも高いが、解析値は外気と同様の変動をしている。本解析では、壁などの吸放湿の影響を全く考慮していないために、相対的に外気の影響が大きい場合には吸放湿材による緩和作用の影響を再現できない。高温多湿気候下では湿度も快適性に大きな影響を与えられ、今後十分な検討が必要となる。

各部位から室内への流入熱量を図 5-29 および図 5-30 に示す。戸建住宅 (タイプ A) と同様に、日中は屋根からの熱流が大部分を占めており、次いで窓を通して入る日射がある。換気はほとんどの場合、室内から排熱する役割を果たしているが、日中に外気温度が室温よりもかなり高い場合には熱は流入に変わっている。外気温度やその他の部屋と対象室の温度との関係次第では、換気による熱負荷が増えることが分かる。部屋 2 (居間) の各壁表面温度を図 5-31 に示す。屋根表面温度は最高で 36℃を超えている。床表面、間仕切り壁および外壁の室内側表面温度は、18:00 頃まで室温よりも低い。

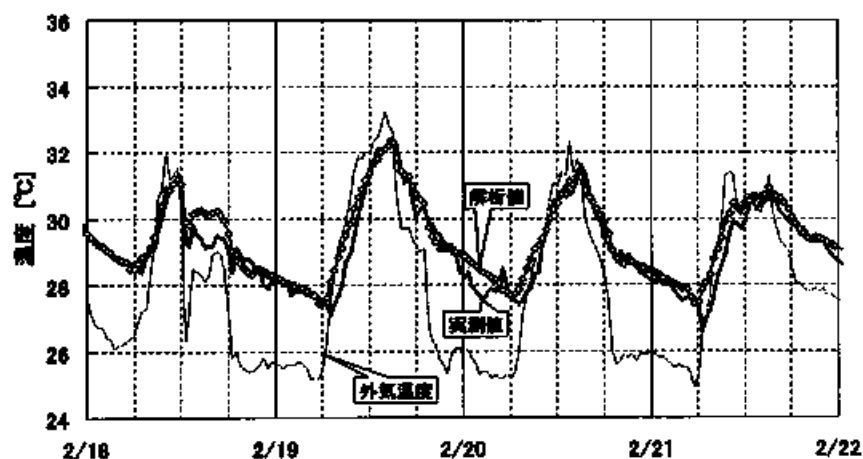


図 5-25 実測値と解析値の比較 (温度) (部屋 2 (居間))

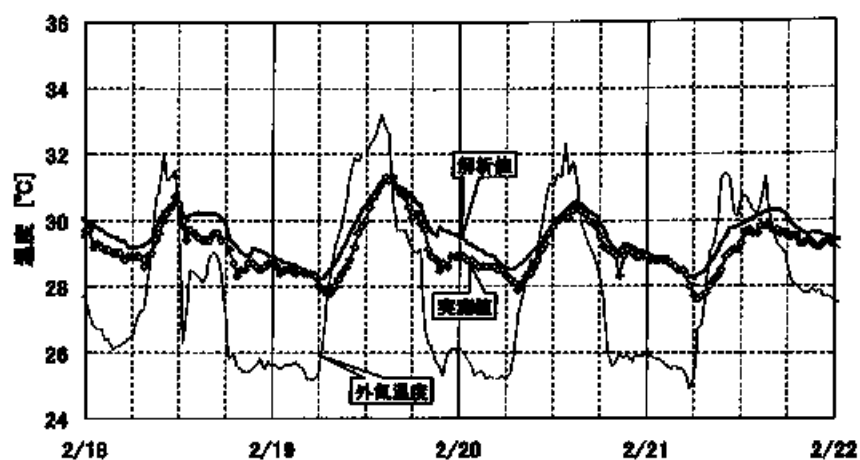


図 5-26 実測値と解析値の比較 (温度) (部屋 3 (寝室))

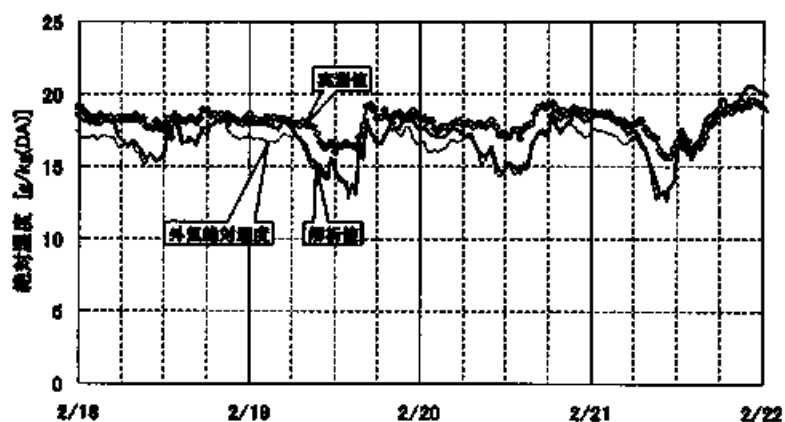


図 5-27 実測値と解析値の比較 (絶対湿度) (部屋 2 (リビング))

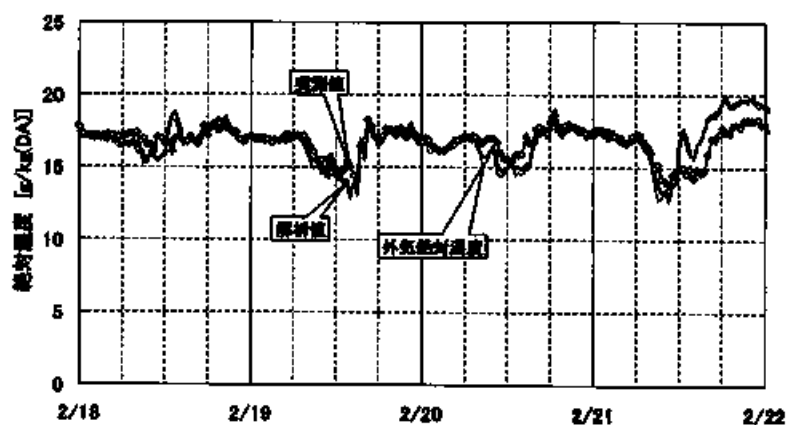


図 5-28 実測値と解析値の比較 (絶対湿度) (部屋 3 (寝室))

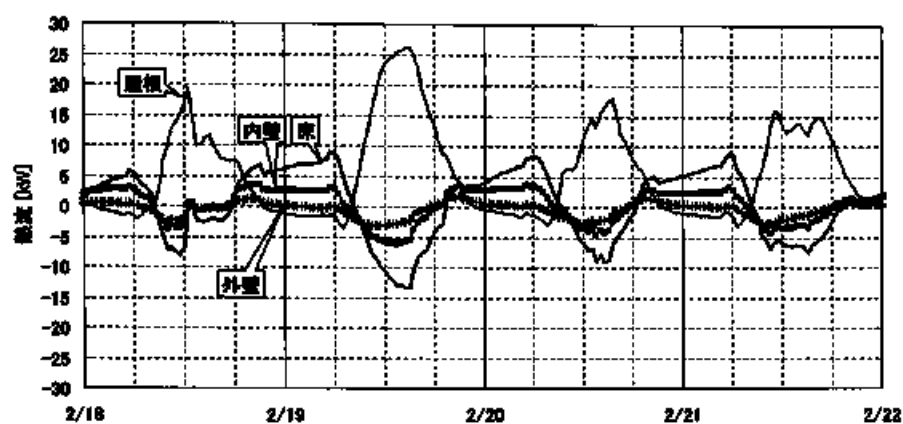


図 5-29 部屋 2 (居間) への熱流 (屋根・外壁 間仕切り・床からの熱流)

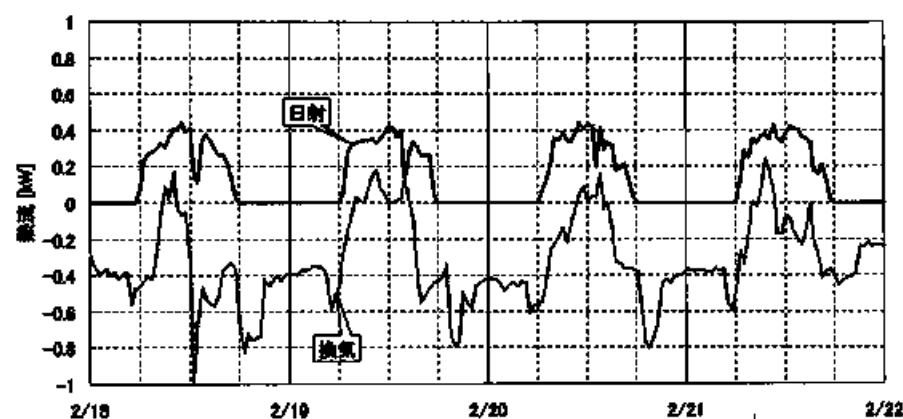


図 5-30 部屋 2 (居間) への熱流 (日射と換気による熱流)

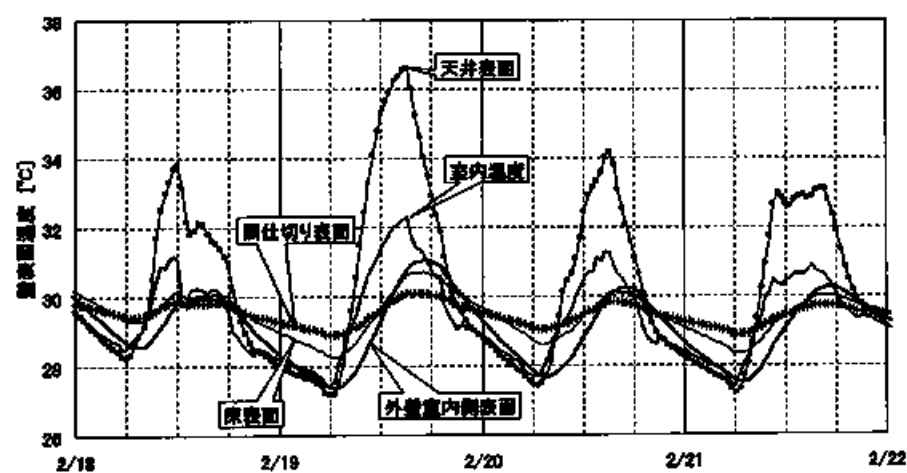


図 5-31 部屋 2 (居間) の天井、間仕切り、外壁、床の室内側表面温度

(3) 室内温熱環境の改善

a) 日射遮蔽をした場合の結果

ブラインドなどを用いた場合を想定し、窓から入る日射を70%カットした場合の解析を行った。部屋2(居間)、部屋3(寝室)ともに一日を通して現状よりも室温が低くなっている(図5-32、図5-33)。特に、開口面積の大きな部屋2(居間)の方が日射遮蔽による室温低下は大きい。ただ、部屋2(居間)の日中の最高室温が0.28K、平均室温は0.24K低下する(表5-11)程度であり、現状でも直達日射が室内に入らないように工夫されているので、日射遮蔽による室温低下は小さい。

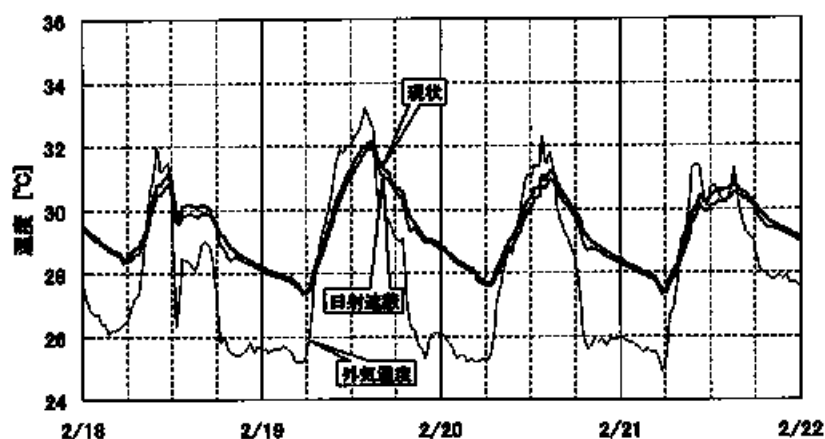


図 5-32 日射遮蔽をした場合の室温 (部屋2 (居間))

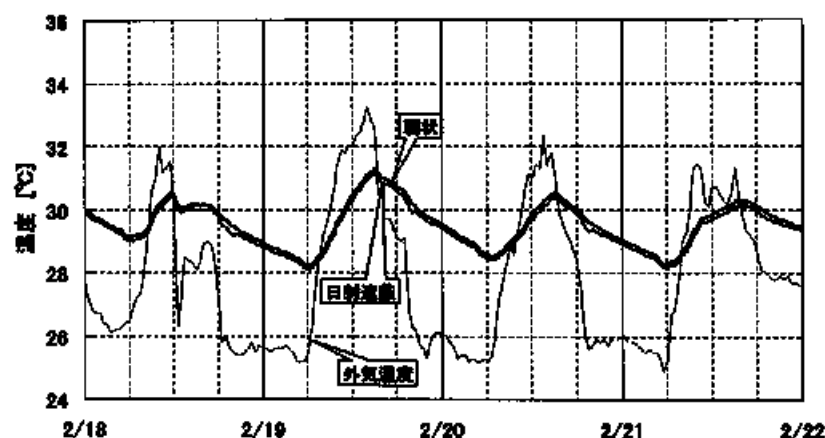


図 5-33 日射遮蔽をした場合の室温 (部屋3 (寝室))

表 5-11 日射を遮蔽した場合の居間と寝室の温度

	日中平均室温 [°C]		夜間平均室温 [°C]		最高室温 [°C]	
	居間	寝室	居間	寝室	居間	寝室
現状	30.08	29.89	28.91	29.42	32.33	31.42
日射遮蔽	29.84	29.77	28.85	29.35	32.05	31.29

b) 天井に断熱した場合の結果

戸建住宅（タイプA）同様に、戸建住宅（タイプB）でも室内温度を上昇させる原因となっているのが、屋根からの熱流である。そこで、天井裏に1cmから5cmの断熱を行った場合の効果について検討する。解析結果を図5-34、図5-35および表5-12に示す。

天井の断熱材厚さを1cm、3cm、5cmと変化させると、日中の居間の平均室温は現状と比較して、それぞれ0.19K、0.48K、0.62K低下する。最高室温も0.37～1.1K程度低下する。寝室（部屋3）も居間と同様に、平均室温で0.19～0.7K、最高室温で0.37～1.1K低下する。天井の表面温度は断熱を加えることによって、日中の最高値で1.21～3.48K低下し、日中の平均表面温度でも0.54～1.66K低下する。これにより屋根からの放射による影響も低減される。

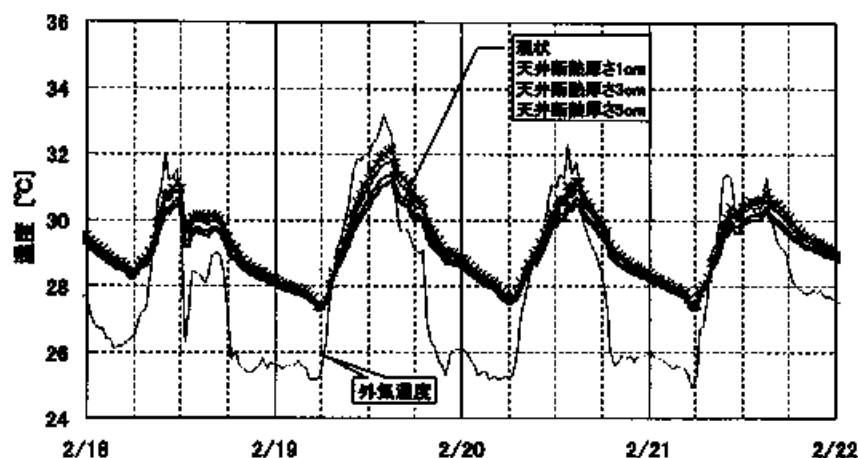


図 5-34 天井を断熱した場合の部屋2（居間）の温度

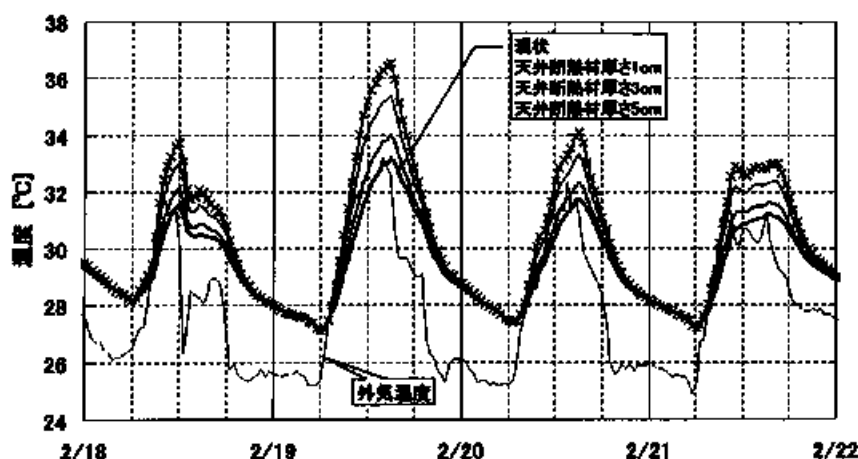


図 5-35 天井を断熱した場合の部屋2（居間）の天井表面温度

表 5-12 天井を断熱した場合の居間と寝室の温度

		日中平均室温 [℃]		夜間平均室温 [℃]		最高室温 [℃]	
		居間	寝室	居間	寝室	居間	寝室
現状		30.01	29.83	28.91	29.40	32.23	31.33
断熱材 厚さ	1cm	29.83	29.62	28.81	29.26	31.90	30.96
	3cm	29.61	29.35	28.68	29.08	31.49	30.50
	5cm	29.48	29.19	28.61	28.97	31.25	30.27

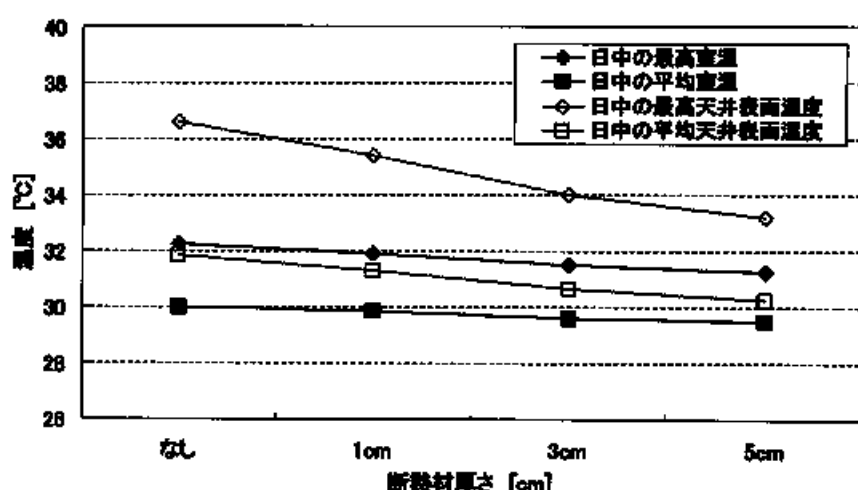


図 5-38 部屋 2 (居間) での室温・天井表面温度の最高値と日中 (午前 6:00~18:00) の平均

c) 屋根に断熱した場合

次に、屋根に断熱を設けた場合について検討する。断熱材厚さを 1cm、3cm、5cm と変化させると、日中の居間平均室温は現状と比較して、それぞれ 0.2K、0.42K、0.55K 低下する (表 5-13)。最高室温も 0.39~1.06K 程度低下する。断熱を加えることによって、天井の室内側表面温度は日中の最高値で 1.4~3.76K 低下し、日中の平均値で 0.62~1.71K 低下する (図 5-39)。

天井に断熱した場合と屋根に断熱した場合の比較を図 5-40 および図 5-41 に示す。現状からの日中の室温の低下は、屋根に断熱を加えた場合の方が天井に断熱を加えた場合よりも僅かであるが大きい。断熱面積は屋根断熱の方が天井の 1.2 倍となるため、天井と屋根面をあわせて熱抵抗を考えると屋根断熱をした場合のほうがやや大きくなるためである。逆に、夜間は天井に断熱した場合の方が外部への熱流出が増えるので、室温は低くなる。

必要な断熱材の量は屋根断熱の方が多く、さらに現状では野地板がないため、直接屋根面下に断熱材を貼付できない。また、雨への対策は屋根、天井のどちらに断熱材を設けるかにかかわらず行わなければならない。

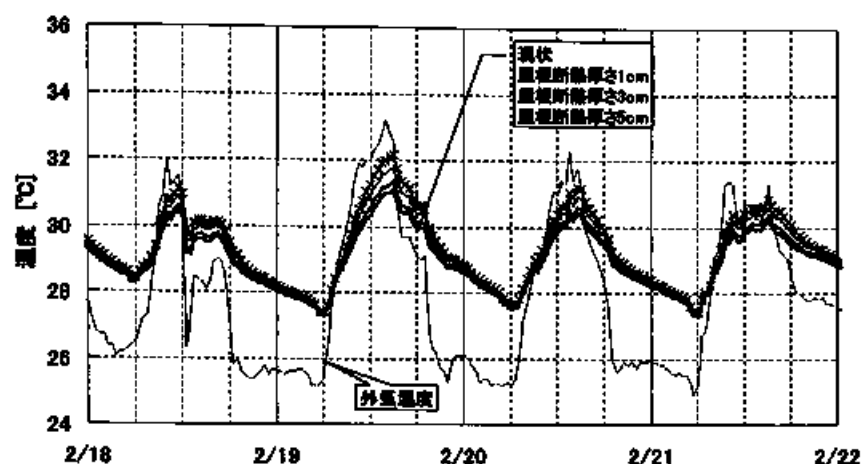


図 5-37 屋根を断熱した場合の室温（部屋 2（居間））

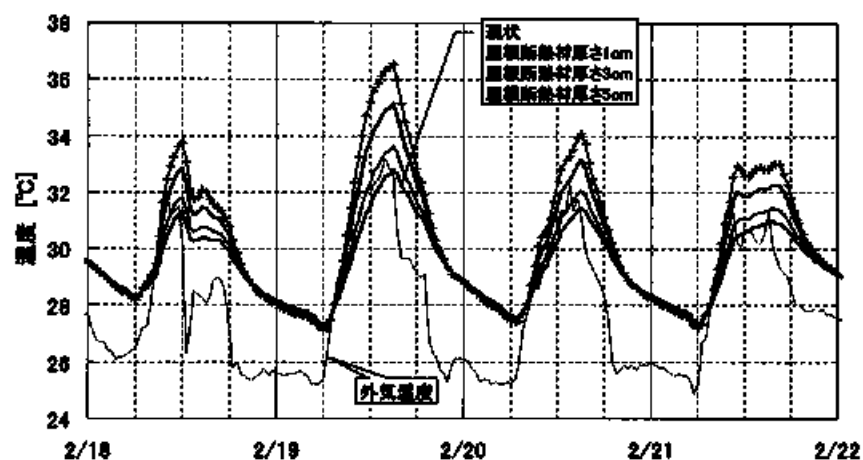


図 5-38 屋根を断熱した場合の部屋 2（居間）の天井表面温度

表 5-13 屋根を断熱した場合の居間と寝室の温度

		日中平均室温 [℃]		夜間平均室温 [℃]		最高室温 [℃]	
		居間	寝室	居間	寝室	居間	寝室
現状		30.01	29.83	28.91	29.40	32.23	31.33
断熱材 厚さ	1cm	29.81	29.60	28.82	29.27	31.84	30.92
	3cm	29.59	29.33	28.71	29.09	31.41	30.48
	5cm	29.46	29.18	28.64	28.99	31.17	30.27

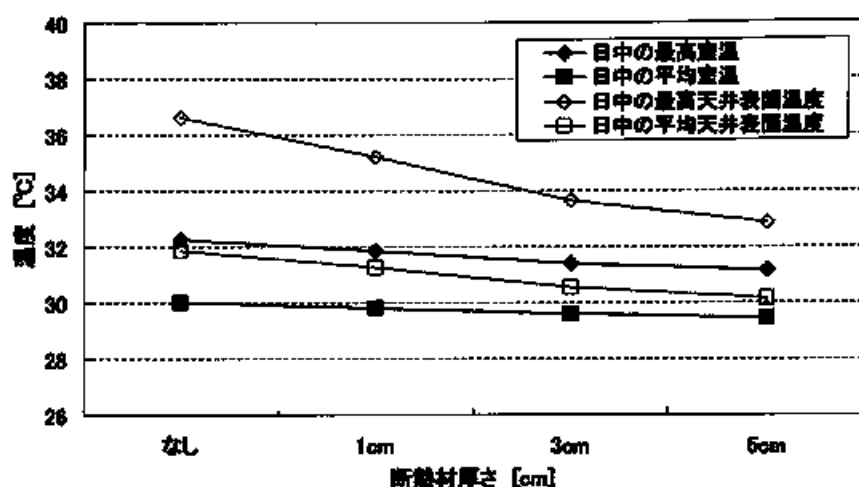


図 5-39 部屋 2 (居間) での室温・天井表面温度の最高値と日中 (午前 6:00~18:00) の平均

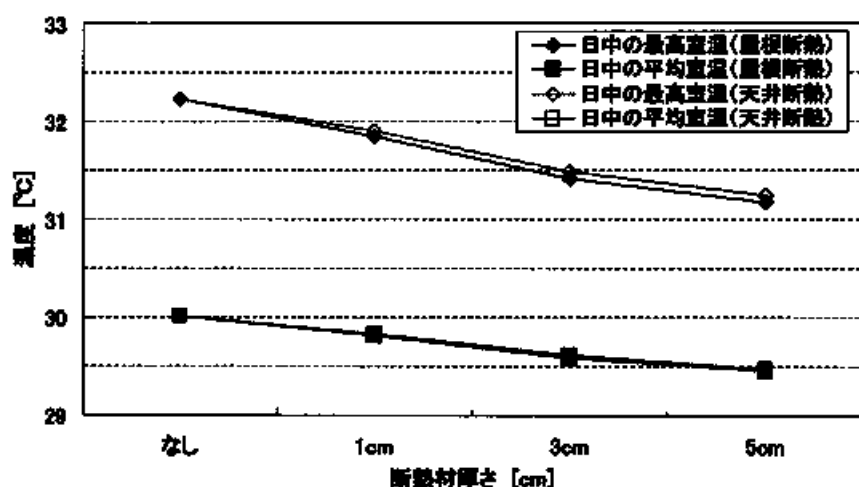


図 5-40 部屋 2 (居間) での室温の最高値と日中 (午前 6:00~18:00) の平均

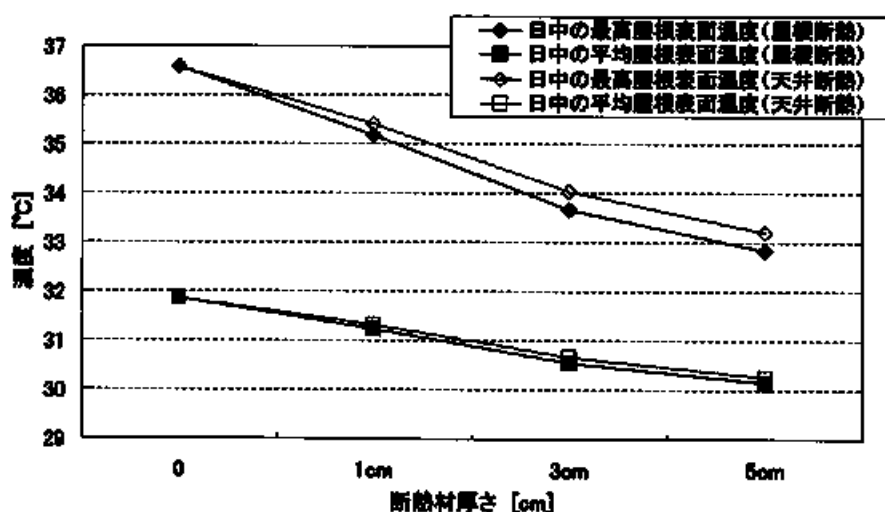


図 5-41 部屋 2 (居間) での天井表面温度の最高値と日中 (午前 6:00~18:00) の平均

d) 換気量を変更した場合①（夜間換気を行った場合）

次に換気量を変更した場合について検討する。日中に開口部を開け夜間に閉じた場合を現状（日中 OP 夜間 CL）とし、終日開放した場合（日中 OP 夜間 OP）、夜間のみを開放した場合（日中 CL 夜間 OP）、夜間に開放しその時の換気量を 2 倍にした場合（日中 CL 夜間 OP2）について検討する。解析結果を図 5-42、表 5-14 に示す。ここで、居住者が起床する午前 5:00 から日が沈む 18:00 までを日中とした。

夜間換気を行わない場合（日中 OP 夜間 CL）と比較すると、夜間に換気を行うことによって、夜間の平均室温は居間では 0.27～0.72K、寝室では 0.21～0.67K 低下している。夜間に換気を行った上で日中に閉鎖した場合（日中 CL 夜間 OP）は、日中の居間平均室温は現状よりも上昇する。しかし、夜間換気量を 2 倍にした場合（日中 CL 夜間 OP2）には、日中の居間平均室温は低下している。夜間換気量を大きくした場合、夜間に温度がより低下するため、日中に外気よりも室温が低い時間帯が増え、日中に換気を行わない方が温度を低く保つことができる。しかし、夜間の温度低下が小さい場合（日中 CL 夜間 OP）には、日中の室温が外気よりも高い時間帯も生じてくるため、換気を行った方が低くなる。つまり、日中に開口部を閉じるべきか否かは、室温と外気温度のバランスおよび日射が流入するかどうかを考慮して決める必要がある。いずれの場合も、夜間は換気量を多くした方が室温低下には有効である。

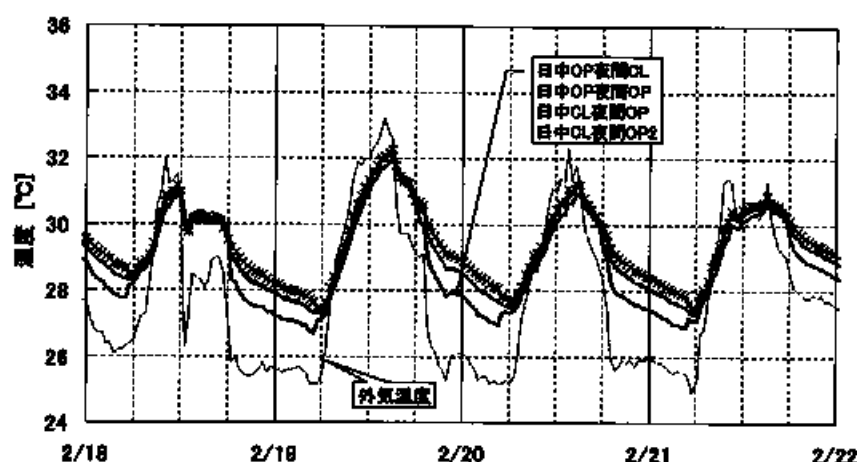


図 5-42 部屋 2（居間）の温度（換気量を変化させた場合）

表 5-14 部屋 2（居間）と部屋 3（寝室）の温度（換気量を変化させた場合）

	日中平均室温 [℃]		夜間平均室温 [℃]		最高室温 [℃]	
	居間	寝室	居間	寝室	居間	寝室
日中 OP 夜間 CL	30.05	29.84	28.93	29.42	32.30	31.35
日中 OP 夜間 OP	29.94	29.70	28.63	29.17	32.20	31.21
日中 CL 夜間 OP	30.07	29.76	28.70	29.23	32.24	31.16
日中 CL 夜間 OP2	29.83	29.41	28.16	28.66	32.01	30.82

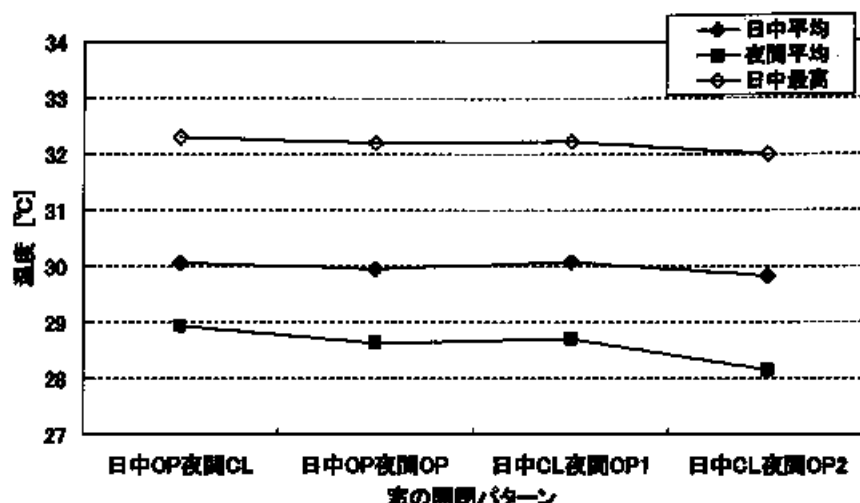


図 5-43 居間の室温（日中の平均、夜間の平均、日中の最高値）

e) 換気量を変更した場合②（天井を断熱した上で換気量を変更）

次に、天井裏に 3cm の断熱を加えた上で、換気量を変更した場合について検討する。(4) 換気量を変更した場合①と同様に、日中に開口部を開け夜間に閉じた場合を現状（日中 OP 夜間 CL）とし、終日開放した場合（日中 OP 夜間 OP）、夜間のみに開放した場合（日中 CL 夜間 OP）、夜間に開放しその時の換気量を 2 倍にした場合（日中 CL 夜間 OP2）について検討した。

解析結果を図 5-44、表 5-15 に示す。夜間換気を行わない場合（日中 OP 夜間 CL）と比較すると、夜間に換気を行うことによって、夜間の平均室温は居間では 0.23～0.70K、寝室では 0.17～0.65K 低下している。d) 換気量を変更した場合①とは違い、日中に閉鎖した場合（日中 CL 夜間 OP）でも、日中の室温は日中に開放し夜間に閉じた場合（日中 OP 夜間 CL）よりも低下している。天井を断熱することで、現状よりも室温が外気温度よりも低い時間帯が増えたためである。

つまり、日中の室温を低く保つためには、まず断熱を強化し屋根面からの熱流を減らすとともに、夜間の換気量を大きくする。その上で、外気温度、日射の流入、内部発熱などとのバランスを考えながら、日中に換気量を減らすことが重要である。

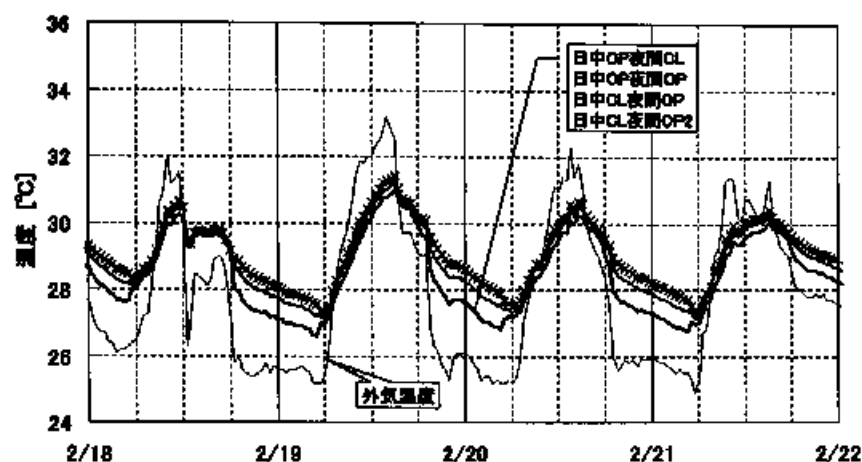


図 5-44 部屋 2 (居間) 温度 (天井を断熱した場合に換気量を変化させた場合)

表 5-16 部屋 2 (居間) と部屋 3 (寝室) の温度 (天井を断熱し、換気量を変化させた場合)

	日中平均室温 [°C]		夜間平均室温 [°C]		最高室温 [°C]	
	居間	寝室	居間	寝室	居間	寝室
日中 OP 夜間 CL	29.61	29.35	28.68	29.08	31.49	30.50
日中 OP 夜間 OP	29.50	29.21	28.41	28.85	31.40	30.39
日中 CL 夜間 OP	29.56	29.21	28.45	28.88	31.29	30.29
日中 CL 夜間 OP2	29.33	28.88	27.96	28.36	31.07	30.06

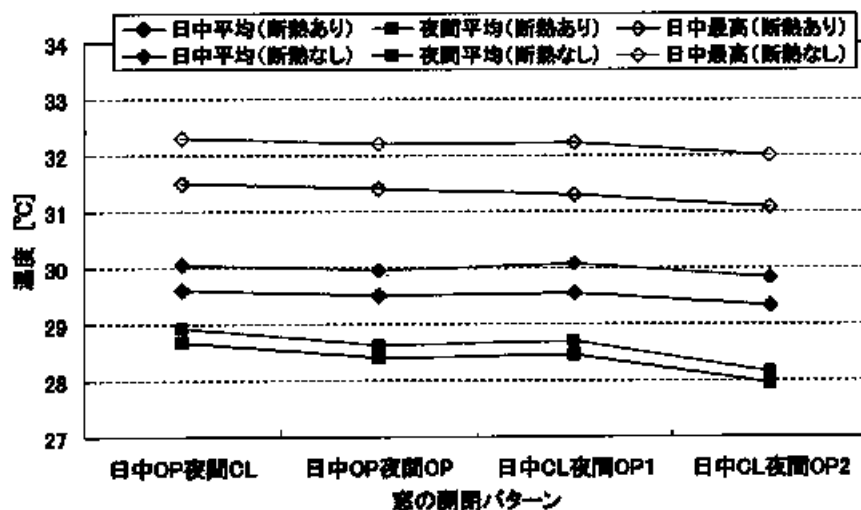


図 5-45 部屋 2 (居間) の室温 (日中の平均、夜間の平均、日中の最高値) (天井断熱あり)

5.5 戸建住宅（タイプB）において冷房を行う場合の解析

(1) 解析方法と外部環境の入力条件

戸建住宅（タイプB）のうち、エアコンを使用している住宅に対して湿熱環境解析を行う。エアコンを使用している住宅では、住宅に改善を加えた場合にどの程度エアコンのエネルギー消費量が削減されるかについて解析する。

エアコンは、部屋2（居間）と部屋5（寝室）で使用されているものとする。

換気回数は、エアコンを使用している部屋（部屋 2（居間）と部屋 5（寝室））以外はエアコンを使用していない住宅と同じとし、エアコンを使用している部屋では少なく設定する。窓や壁に当たる日射量は、植栽や庇によって遮られる部分を考慮した。

a) エアコンの概要

図 5-46 にエアコン (ヒートポンプ) の概要を示す。エアコンからの吹き出し空気温度および絶対湿度、圧縮機における消費動力は、以下の関係式を用いて算定される²⁾。

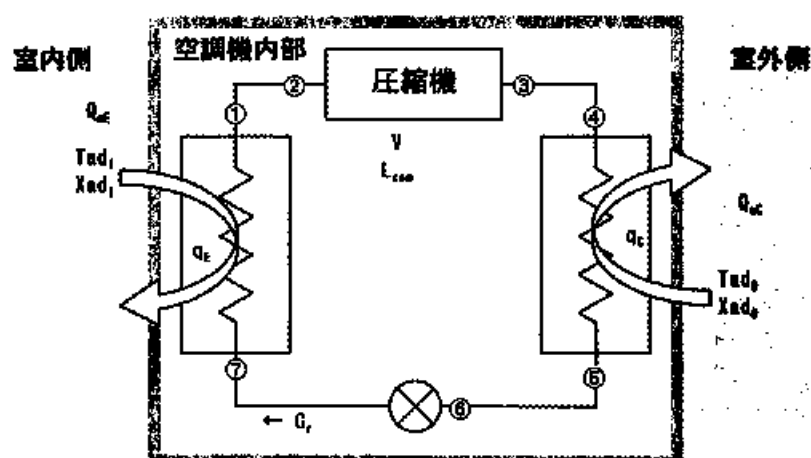


図 5-48 ヒートポンプの基本構成

① ヒートポンプのサイクルの熱平衡式

$$q_c = q_E + L_{\text{com}} + (q_{G_{\text{com}}} - q_{L_{\text{com}}} - q_{L_{\text{in}1}} - q_{L_{\text{in}2}})$$

- q : 熱流量 [kJ/h] (添え字は、 C :凝縮器、 E :蒸発器、
 G_{com} :図5-46の状態点①から②における配管から、
 L_{com} :図5-46の状態点②から③における圧縮機から、
 $Lin1$:図5-46の状態点③から④における配管から、
 $Lin2$:図5-46の状態点⑤から⑥における配管から。
ただし、 q_{Gcom} 、 q_{Lcom} 、 q_{Lin1} 、 q_{Lin2} は一定値をとるものと仮定している。)
 L_{com} : 圧縮機における消費電力 [kJ/h]

② 圧縮機特性

圧縮機の冷凍能力および圧縮機消費動力は、冷媒の蒸発温度 t_E および凝縮温度 t_C の関数として表すことができる。ここでは、冷媒吐出量 V の圧縮機に対して、冷凍能力 q_E および圧縮動力 L_{com} を次式の圧縮機特性式を用いて表す。

$$q_E = \frac{V}{V_B} (A_1 \cdot t_E + A_2 \cdot t_C + A_3)$$

$$L_{com} = \frac{V}{V_B} (D_1 \cdot t_E + D_2 \cdot t_C + D_3)$$

V : 圧縮機冷媒吐出量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ (添え字は、 B : 基準機器を表す。)

t_r : 冷媒の蒸発温度 $[\text{℃}]$ (添え字は、 C : 凝縮器、 E : 蒸発器を表す。)

$A_1, A_2, A_3, D_1, D_2, D_3$: 近似式の係数 $[-]$

③ 熱交換機特性式

凝縮器において、冷媒は気体状態から気液二相状態、さらに液体状態へと相変化して凝縮熱を放出するが、ここでは冷媒が二相状態のみで熱交換を行うものと仮定する。二相状態においては、冷媒温度は t_C で一定と考えられる。従って、凝縮器交換量に関して次式が成立する。

$$q_C = G_{ac} \cdot C_{pac} \cdot \varepsilon_C (t_{rc} - t_{ad_c})$$

$$\varepsilon_C = 1 - \exp \left\{ - (K_C S O_C) / (G_{ac} C_{pac}) \right\}$$

$$K_C = 1 / \left\{ 1/\alpha_{ac} + (S O_C / S I_C) / \alpha_{rc} \right\}$$

C_{pac} : 凝縮器側の空気定圧比熱 $[\text{kJ}/(\text{kgK})]$

G_a : 空気質量流量 $[\text{kg}/\text{h}]$

ε : 凝縮器の温度効率 $[-]$

t_{ad} : 熱交換器吸い込み空気乾球温度 $[\text{℃}]$

K : 熱交換器熱通過率 $[\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}]$

SO : 熱交換器内表面全電熱面積 $[\text{m}^2]$

SI : 熱交換器外表面全電熱面積 $[\text{m}^2]$

α_a : 熱交換器空気側熱伝達率 $[\text{kJ}/(\text{m}^2\text{hK})]$

α_r : 熱交換器冷媒側熱伝達率 $[\text{kJ}/(\text{m}^2\text{hK})]$

(添え字は、 C : 凝縮器、 E : 蒸発器を表す。)

一方、蒸発器においては、冷媒は気液二相状態から気体状態へと相変化して気化熱を吸収するが、ここでは凝縮器と同様に冷媒が二相状態のみで熱交換を行うものと仮定する。二相状態においては、冷媒温度は t_E で一定と考えられる。

$$q_E = G_{ax} \cdot \varepsilon_E [h_{ax} - (C_1 \cdot t_{ax} + C_2)]$$

$$\varepsilon_E = 1 - \exp \left\{ - (\alpha_{ax} S O_E / C_{pax} G_{ax}) \right\}$$

ζ_E : 熱交換器コンタクトファクタ [-]
 C_1, C_2 : 近似式の係数 [-]
 h_{ab} : 熱交換器吸い込み空気エンタルピ [kJ/kg]
 t_m : 熱交換器表面飽和温度 [°C]

また、蒸発器交換熱量は冷媒と蒸発器表面間の熱流と等しく、次式で与えられる。

$$q_E = \alpha_{r_s} \cdot SI_E (t_{as} - t_r)$$

以上①、②、③の関係式より、 q_E 、 q_C 、 tr_C 、 tr_E 、 tas_E 、 L_{room} を決定することができる。

これらとコンタクトファクタ ζ_E を用いて、エアコンの吹き出し温度と吹き出し絶対湿度 t_{supply} 、 X_{supply} が表される。

$$T_{supply} = \zeta_E t_{as} - (1 - \zeta_E) T_{room}$$

$$X_{supply} = \zeta_E X_{as} - (1 - \zeta_E) X_{room}$$

エアコンによる除去熱量： Q_{AC}

$$Q_{AC} = (V_{supply} / 3600) (T_{supply} - T_{room})$$

エアコンによる除去水分量： X_{AC}

$$X_{AC} = (V_{supply} / 3600) (X_{supply} - X_{room})$$

T : 温度 [°C] (添え字は、*supply* : 吹き出し空気、*room* : 室空気)

X : 絶対湿度 [kg/kg (DA)] (添え字は、*supply* : 吹き出し空気、*room* : 室空気)

V_{supply} : 供給空気容量 [m³/h]

Q_{AC} : 除去熱量 [J/s]

X_{AC} : 除去水分量 [kg/s]

(2) 解析値と実測値の比較

外気との換気回数、室間の換気回数を表 5-16 に示す。

この場合の結果を図 5-47、図 5-48、図 5-49 に示す。

表 5-10 各室間の換気回数 (日中/夜間 (カッコ内は冷房中の換気回数))

	外気との換気回数 [回/h]		他室との換気回数 [回/h]	
	日中	夜間	日中	夜間
部屋 1 (台所)	4	2	40	20
部屋 2 (居間)	12 (6)	6 (3)	19 (18)	10 (10)
部屋 3 (寝室)	8	4	5.7	2.8
部屋 4 (カマルマンディ)	2	1	8.5	8.5
部屋 5 (寝室)	6 (4)	3 (3)	2.8 (2.8)	2.8 (2.8)

部屋2（居間）の温度はエアコン使用時と非使用時ともに実測値を再現できています。部屋3（寝室）では、日中にエアコンを使用した場合の室温は実測値よりも高めとなっている。エアコン非使用時の日中は実測値よりもやや低めになっている。夜間のエアコン使用時の温度は、良い一致を示している。絶対温度は、エアコン非使用時には実測値よりも低く、外気温度に近い値となっている。エアコンを使用していない住宅での解析と同様に、壁体の吸放湿による緩和作用を考慮していないために、相対的に外気の影響が大きくなっているためである。エアコン使用時は、やや実測値よりも高くなっているがその差はわずかである。全体としては、解析結果は実測値をおおむね再現できており、本シミュレーションの妥当性が示されたと言える。

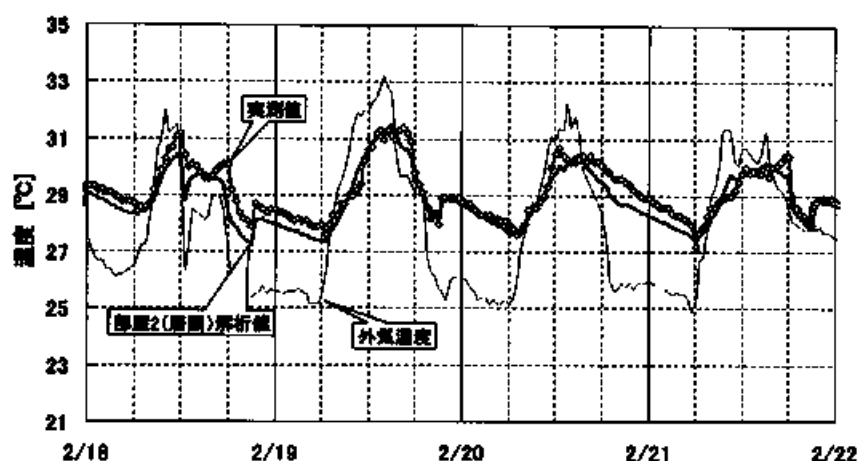


図 5-47 実測値と解析値の温度の比較（部屋2（居間））

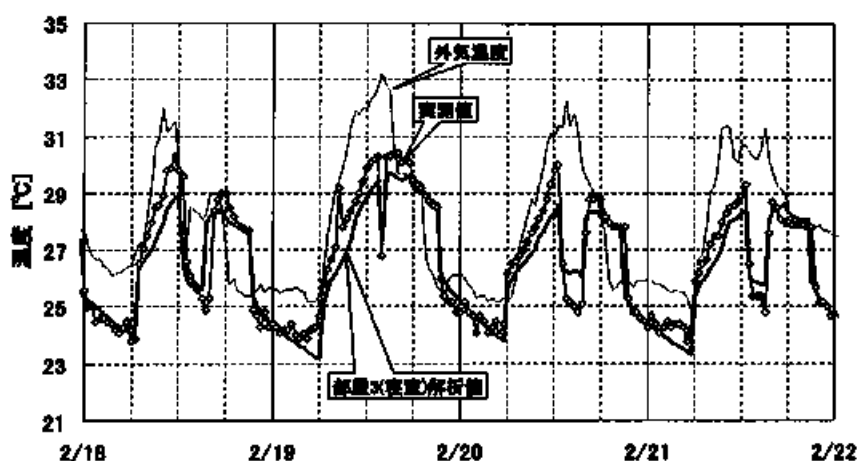


図 5-48 実測値と解析値の温度の比較（部屋3（寝室））

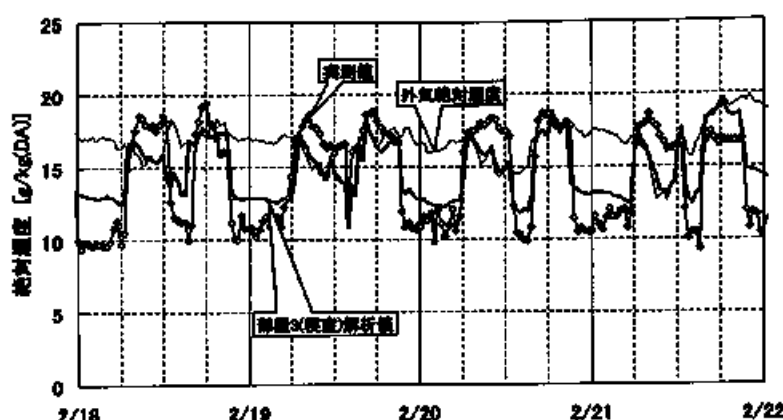


図 5-49 実測値と解析値の絶対湿度の比較（部屋 5（寝室））

(3) 室内温熱環境の改善

住宅に改善を加え、エアコンの冷房負荷を削減する方法を検討する。基本となる壁体構造は、表 5-9 に示すものである。換気回数は、エアコンを使用していない住宅よりは少なく設定している（表 5-16）。エアコンの使用時間は、最も使用頻度が高い時間帯にあわせて（第 3 章 3.3 (3)）、14:00～16:00 および 21:00～午前 5:00 とした。

a) 部分的に気密性を高めた場合

エアコンを使用している部屋（寝室（部屋 5））のみ気密性を高めた場合について検討する。気密性は、外気や各部屋間の換気回数により表現さる。現状でも、エアコンを使用している部屋では、プラスチックなどで扉上部の開口部はふさがれている。そのため、エアコンを使用している部屋の外気との換気回数は、使用していない部屋に比べて少なくなっている。

気密性の影響を検討するために、現状よりも気密性を下げた場合（低気密 2-A）と気密性を上げた場合（気密 2-B）について解析を行った。それぞれ、エアコンを使用している部屋（部屋 5（寝室））での外気との換気回数を、低気密 2-A ではエアコンを使用していない部屋（部屋 3（寝室））での換気回数と同じに、気密 2-B では外気との換気回数を日中・夜間ともに 1 回/h とした。

図 5-50 に、冷房時の顕熱負荷と潜熱負荷および圧縮機の消費動力に関して、現状からの削減率を示す。

低気密の場合、現状と比較して顕熱負荷はほとんど変わらない。しかし、潜熱負荷は 6% 程度上昇し、結果として圧縮機の消費動力は 2% 上昇する。一方、気密性を高めた場合、顕熱負荷はほとんど削減されないものの、潜熱負荷は 19% 程度削減され、結果として 6% の消費動力の削減となった。つまり、気密性を高めることによって、エネルギー消費量が 6% 程度削減できることになる。

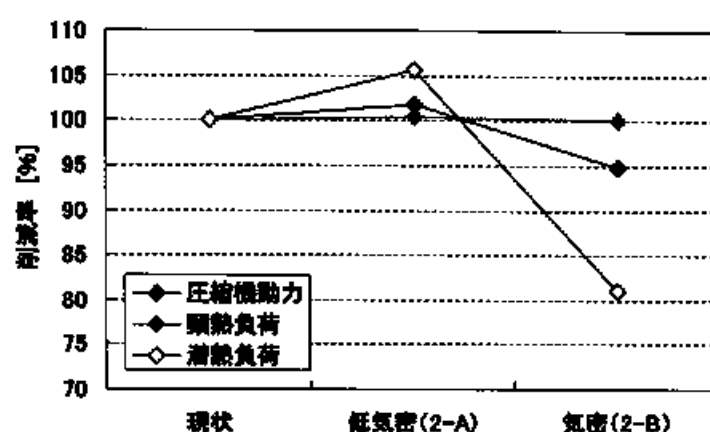


図 5-50 気密性を変更した場合の削減率

b) 部分的に断熱性能を高めた場合

次に、断熱性能の影響を調べるために、部屋 5 (寝室) の天井に 3cm の断熱材を貼付した場合について検討する。天井に 3cm の断熱材を貼付するだけで、顕熱負荷は 10% 程度、潜熱負荷 5% 程度削減され、結果として 7% の圧縮機消費動力の削減となる。

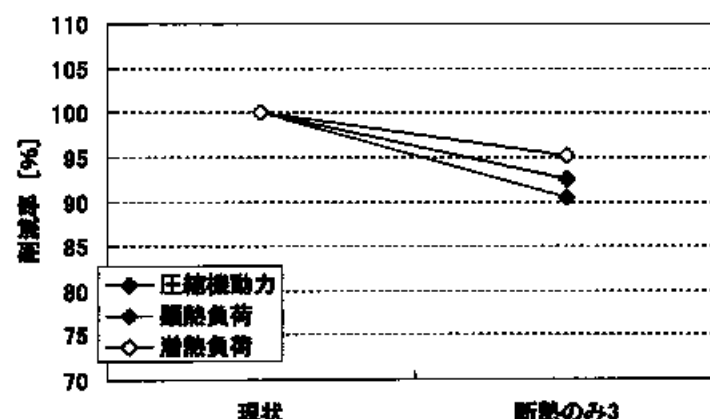


図 5-51 天井断熱した場合の削減率

c) 断熱気密性能を高めた場合

次に、断熱気密性を上げた場合について検討する。断熱としては、天井裏に 3cm のグラスウールを貼付した。気密性は前ケースと同じとする。断熱性を高めても気密性を低くすると潜熱負荷は現状よりも増加するため、低気密 3-A では圧縮機消費動力は現状と比較して 7.5% の削減されるに過ぎない。つまり、冷房エネルギー消費を削減するためには、気密性の向上が最も必要といえる。断熱性と共に気密性を高めると、顕熱負荷では 11%、潜熱負荷では 23% の削減となる。結果として、15% の圧縮機消費動力の削減となる。

戸建住宅（タイプB）での1ヶ月のエネルギー消費が100～200kWhであるのに対して、エアコンを使用している住宅では200～700kWhのエネルギー消費がある。1ヶ月に使用される電力量のうち100～600kWhがエアコンに使用されていると仮定すると、エアコンを使用している部屋にのみ断熱気密性を高めることにより、1ヶ月あたり15～90kWhの電気消費量の削減となる。住宅での全エネルギー消費量からみても7～13%の削減となり、エネルギー消費の削減効果は高いといえる。

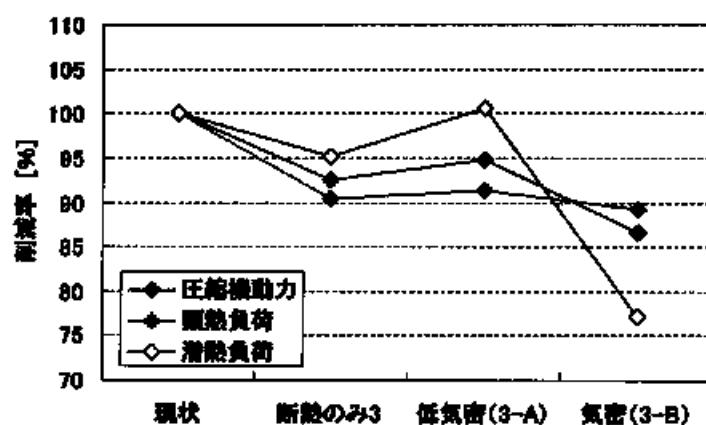


図 5- 52 断熱気密性を変更した場合の削減率

5.6 第5章のまとめ

本章では、第3章の結果を基にして2種類のタイプの戸建住宅の温熱環境を解析した。建物の改善案を示し、さらに、第4章で考察した夜間換気による躯体蓄冷、日中閉鎖型を適応した場合について検討した。また、戸建住宅（タイプB）については、エアコンを使用している住宅についても解析し、エアコンを使用する場合の住宅の改善についても検討した。

第3章で推定したように、戸建住宅（タイプA）では、屋根の断熱性能が低く、これが日中の室温上昇の原因となっていることが確認された。また、閉鎖的な建物構造のため外気との換気が抑制され、これにより室温が低下しないことを確認した。環境改善のためには、屋根もしくは天井面での断熱を強化することが不可欠である。また、断熱が弱い場合には日中閉鎖型の生活は室内環境を悪化させる。

戸建住宅（タイプB）においても、屋根もしくは天井の断熱強化が一番の環境改善につながることを明らかにした。夜間換気を行うことによって夜間の室温は低下する。この手法は効果的である。屋根面からの熱流を減じた上で開口部を日中閉鎖型にすることにより、日中の室温を比較的低く保つことができる。

エアコンを使用している住宅では、気密性の低さおよび断熱の不足が、冷房用のエネルギー消費を増加させている原因と考えられる。エアコンを考慮したシミュレーションプログラムを作成し、断熱性を向上させた場合および気密性を向上させた場合について検討した。断熱性を上げることにより顕熱負荷が、気密性を上げることにより潜熱負荷が大幅に削減された。断熱性および気密性をともに改善することにより、冷房用エネルギーが約15%削減されることを示した。

参考文献

- 1 伊藤克三、中村洋、桜井美政、松本衛、植崎正也：大学課程 建築環境工学、pp.153-154、オーム社、1978年
- 2 空気調和・衛生工学会編：空気調和設備 計画設計の実務の知識、pp.144-145、オーム社、1995年
- 3 伊東弘一、大河内勝彦、柴田究：冷房部分負荷を考慮したヒートポンプシステムの多目的最適設計、空気調和・衛生工学会論文集、No. 29、pp.51-61、1985年10月

第6章 結論

6.1 まとめ

6.2 環境調整技術の提案

- (1) 日射遮蔽と屋根からの熱流入の低減
- (2) 夜間換気
- (3) 日中閉鎖型の生活スタイル
- (4) 熱容量の利用
- (5) 部分高断熱高気密化

6.3 今後の課題

第6章 結論

6.1 まとめ

本研究では、高温多湿気候下における環境低負荷型住宅と環境調整技術の開発を目標として、その基礎となる住宅の温熱環境把握をインドネシア・スラバヤにおいて行った。また、スラバヤでは実験住宅における環境調整技術の効果について、マレーシア・ペナンにおいては夜間換気と建物熱容量の効果についての実験を行い、解析プログラムを作成してそれらの効果を明らかにした。最後に、実住宅に環境調整技術を取り入れた場合について解析を行い、住宅の改善策を提案した。

以下に、本研究の成果を要約する。

第1章では、研究の目的、研究方法、本論文の構成を示した。さらに、環境調整手法や環境低負荷型住宅に関する既往の研究や、高温多湿気候における研究を概観し、本研究との関連を明確にした。

第2章では、本論文の検討対象である高温多湿地域にあるインドネシアとマレーシアについて、気候やエネルギー消費量などの地域特性について簡単にまとめた。両地域とも、熱帯モンスーン気候下にあり、年間を通して高温多湿である。地域統計データとしては、GDPやエネルギー消費量の統計的な資料を基に、経済発展に伴ないエネルギー消費量が増大している傾向を、日本との比較を通して示した。また、エアコンの普及状況についても、生産台数の大幅な増加の傾向を示した。インドネシア・スラバヤに関しては、一般的な生活環境のうち本論文に密接に関係する要因として、居住者の服装と住宅について説明した。

第3章では、インドネシア・スラバヤの一般住宅を対象に行った温熱環境調査と温熱環境に関する居住者の意識調査の結果を踏まえ、住宅の室内温熱環境評価を行った。

まず、調査の目的と調査方法、調査対象住宅について示した。アンケート調査の結果をもとに、住宅に取り入れられている環境調整技術と居住者による住宅の温熱環境の評価について検討した。室内の温熱環境調査の結果から、現状の温熱環境とその改善点について検討した。

取り入れられている環境調整技術については、次のことが示された。一つ目としてスラバヤ市の住宅に取り入れられている環境調整技術として日射の遮蔽があげられる。どの住宅でも日射が室内に流入するのを避けるために、植栽やカーテンが積極的に用いられている。しかし、所得が上がるにつれて開口部を多く設けた構造になっており、日射が室内に流入しやすい環境となっていた。今後、問題になると考えられる。

日射遮蔽の他には、窓にがらりを設けたり、扉上部に小窓を設置し、通風が得られるような工夫がなされていた。居住者のほとんどが、暑い場合の対処法として扉や窓の開放をあげており、積極的に通風を行おうとしている。このように、日中には通風を重視しているが、夜間には防虫や防犯の観点

から窓を開放できないため室内環境を悪化させていた。積極的に夜間換気を行う工夫が必要であることが分かった。主に中所得者層が居住している戸建住宅における測定では、扉や窓を開放すれば居間では0.3m/s前後の風速が得られていた。しかし、寝室では開口部が小さいことから涼感を得るほどの風速は得られていなかった。夜間換気を行うにあたっては、換気経路の確保も重要である。

室内温熱環境に関しては次のことが示された。戸建住宅では所得によって住宅の構造などに差があり、それに伴い室内環境が大きく異なっていた。

主に低所得者層が居住している戸建住宅では、屋根の断熱性が不十分なため日中に室内温度が上昇していた。さらに、増築により居室が閉鎖的になり外気との換気量が減ったため、外気温度が室内温度よりも低い場合でも室温が下がらない。温熱環境に対する評価では、乾期には気温の最も高くなる日中に不快を感じている人の割合が高くなっていた。一方、雨期には日中よりも夜間に不快を感じる人が多かった。従って、乾期には日中の環境の改善が、雨期には夜間の環境改善がまず求められることが分かった。

主に中所得者層が居住している戸建住宅では、低所得者層が居住している戸建住宅よりも室内の温熱環境は良好で、日中の室温は外気温度よりも低く保たれていることもあった。夜間の室温は外気温度よりも3℃程度高く、夜間換気によって室内環境を改善できる可能性がある。室内の快適性については、日中は乾期、雨期ともに不快を感じている人が多く、環境の改善が必要である。乾期の夜間に不快を感じている人は日中よりも少ないが、雨期の夜間を日中よりも快適であると考えている人は少なくなり、夜間の環境改善が必要であるといえる。

集合住宅では、深い軒によって日射熱の室内への流入が防がれており、低所得者が居住している戸建住宅よりも良い環境が得られていた。風速は上層階ほど強く、換気量が多いため日中・夜間とも室温は上層階の方が外気温に近い。夜間換気によって、上層階の夜間の室温は低層階よりも1℃程度低くなっていた。

最後に、エアコン使用時の環境とエアコンを使用することに対する意識に関しては、以下のことが示された。エアコンを必要なものと考えている割合は所得が上がるほど高く、現在エアコンを使用している人の中では80%にものぼった。

エアコンは主に就寝時に使用されていた。また、日中では午後に2時間程度使用されているが、この時間帯は昼寝時間に当たっている。エアコンの使用時間は一日あたり6時間から長い場合は12時間にもおよび、エアコンの長時間連続使用が電気使用量を増加させていることを示した。

エアコンを導入したときには、扉上の開口部を閉じるなどして開口部からの冷気の流出を防いでいたが、簡易なものが多く徹底した気密化は図られていない。また、屋根などに断熱を行っている住宅はなく、断熱性能の低さがエネルギー消費量の増大につながっていると推定される。

エアコン使用時の室温は、多くは25～27℃程度であり、日本での値と同程度であった。エアコンの長時間使用に加えて設定温度の低さのため、住宅によっては21℃まで室温が下がっており、健康への悪影響が懸念された。また、居住者が設定している設定温度は実際に形成されている室温より低い場合が多く、断熱、気密性の低さが冷房用エネルギー消費量の増大につながっていると考えられる。

第4章では、インドネシア・スラバヤに建つ実験住宅と、マレーシア・ペナンに建つ宿泊施設において、環境調整技術に関する実験と実測を行った結果を示した。

インドネシア・スラバヤの実験住宅では、建物構造および開口パターンの違いがおよぼす影響を実測によって確認した。さらに、解析を通して、日射遮蔽、夜間換気、熱容量の効果について検討した。

実験住宅では日射遮蔽が比較的良くなされていたため、さらに日射遮蔽を行った場合の改善効果は小さい。しかし、開口面積のより大きな住宅においては効果があると考えられる。

開口部の開閉パターンの違いによって、室内の温熱環境が大きく異なる。夜間換気は有効であり、夜間の温熱環境の改善のためには不可欠であることが分かった。夜間換気を行った上で、日中に開口部を閉鎖することによって、日中の室温を低く保つことができる。断熱性能が高い場合は日中に閉鎖するメリットがあるが、断熱性能が低い場合には、その効果は小さいことを解析により示した。夜間換気を行う場合には、熱容量の大きな構造を用いることによって、日中の室内をより良好に保つことができる。さらに、断熱を行う場合には、熱容量を持った材料の外側に断熱をしなければ、夜間の室温上昇を引き起こすことを明らかにした。

マレーシア・ペナンにおいては、熱容量の大きな建物を対象として、窓開放の影響を把握するための実験と解析を行った。周囲が部屋で囲まれた主寝室では外部の影響を受けにくく、日中の室温、平均放射温度も低く保たれていた。窓開放は、夜間にのみ行う方が日中・夜間ともに室温を低く保つことができる。特に、日中に窓開放を行う場合と比較すると、平均して0.4℃程度室温は低く保たれる。熱容量が大きい場合は、主寝室においては、日中のピーク温度を0.5℃程度低く保つことができるが、夜間においては逆に0.4℃程度室温が高くなる。日中に使う部屋については熱容量を大きくし夜間換気を行うことが有効であるが、夜間に使う部屋に対しては、利用に際し検討が必要である。

第5章では、第3章の結果を基にして2種類のタイプの戸建住宅の温熱環境を解析した。建物の改善案を示し、さらに、第4章で考察した夜間換気による躯体蓄冷、日中閉鎖型を適応した場合について検討した。また、戸建住宅(タイプB)については、エアコンを使用している住宅についても解析し、エアコンを使用する場合の住宅の改善についても検討した。

第3章で推定したように、戸建住宅(タイプA)では、屋根の断熱性能が低く、これが日中の室温上昇の原因となっていることが確認された。また、閉鎖的な建物構造のため外気との換気が抑制され、これにより室温が低下しないことを確認した。環境改善のためには、屋根もしくは天井面での断熱を強化することが不可欠である。また、断熱が弱い場合には日中閉鎖型の生活は室内環境を悪化させる。

戸建住宅(タイプB)においても、屋根もしくは天井の断熱強化が一番の環境改善につながることを明らかにした。夜間換気を行うことによって夜間の室温は低下する。この手法は効果的である。屋根面からの熱流を減じた上で開口部を日中閉鎖型にすることにより、日中の室温を比較的低く保つことができる。

エアコンを使用している住宅では、気密性の低さおよび断熱の不足が、冷房用のエネルギー消費を増加させている原因と考えられる。エアコンを考慮したシミュレーションプログラムを作成し、断熱性を向上させた場合および気密性を向上させた場合について検討した。断熱性能をあげることで、顕熱負荷が、気密性をあげることで潜熱負荷が大幅に削減された。断熱性および気密性をともに改善することにより、冷房用エネルギーが約15%削減されることを示した。

以上、各章ごとに高温多湿気候下における生活環境の問題点を明らかにし、環境共生手法の提案を行い、その効果について検討を行うことによって、高温多湿気候下での環境共生型住宅の方向性を示した。

6.2 環境調整技術の提案

高温多湿気候下における環境調整技術としては、以下のことが挙げられる。

(1) 日射遮蔽と屋根からの熱流入の低減

日射遮蔽に関しては現状でも、軒を深くしたり、植栽やすだれなどを用いて意識的に対応されている。しかし、時代の流れとして開放的な建物が好まれてきており、開放的な建物での意面からの日射の影響が大きくなってきているのが現状である。今後も、徹底した日射遮蔽が日中の室内温熱環境を良好に保つ鍵となる。

インドネシアでほとんど意識されていないことが、屋根面の断熱である。室内への熱負荷のほとんどが屋根からの日射熱であり、屋根の断熱性能を上げることは、低緯度地域においては不可欠である。

(2) 夜間換気

夜間換気は、現状では防犯や防虫の問題からそれほど取り入れられていない。一部の住宅では、常時開放されている窓やがらり窓を用いて、終日換気の促進を図っている。高温多湿気候下においては、夜間換気は夜間の温熱環境を良好に保つだけでなく、日中の環境を良くするためにも利用できる。夜間には積極的に開口部を開放できるように、防犯や防虫の対策が不可欠である。

(3) 日中閉鎖型の生活スタイル

屋根面もしくは天井面での断熱性を高めた上で、夜間換気によって夜間の室温低下を行った場合、日中は開口部を閉じる方が、日中の室内環境を良好に保つことが出来る。

(4) 熱容量の利用

建物に熱容量を持たせることによって、日中の室内温度を低く保つことが出来る。ただし、この場合も日中閉鎖型でなければ、その効果は小さい。

(5) 部分高断熱高気密化

エアコンを使用する住宅においては、エアコンの使用する部屋が寝室に限られていることから、寝室のみ断熱気密性を上げることが冷房用エネルギー消費量の削減には有効となる。特に、夜間長時間のエアコンの使用に対しては、気密性の向上が不可欠である。

6.3 今後の課題

本研究では、高温多湿気候を対象として住宅の湿熱環境調査および実験と解析による環境調整技術の検討を行った。

湿熱環境の解析では、湿度は環境評価に与える影響が小さいとして、深く検討していない。しかし、高温多湿気候下において、冷房を使用するか否かを決定する要因として、比較的湿度の低い環境では湿度の影響は無視できない。また、環境共生実験住宅での結果では、壁体での吸放湿の影響と思われる結果も出ている。今後は吸放湿の影響を考慮する必要がある。

環境調整技術としては、夜間換気の促進を提案したが、実際にどのようなシステムを用いて換気の促進を行うかについては述べていない。換気計算や流体解析によって室内での気流について検討する必要がある。

本研究では、戸建住宅に焦点を絞って解析を行ったが、今後の東南アジアでの人口増加に伴っては、居住問題を改善するために集合住宅の普及が進むであろう。集合住宅での環境調整技術についても検討をする必要がある。

躯体蓄冷の手段としては室内での換気促進を挙げてきたが、クールチューブなどを用いての積極的な躯体蓄冷についても検討する必要がある。

本研究に関する論文

日本建築学会計画系論文集

- 1) 宇野朋子、鈴井修一、Sri Nastiti、布野修司：インドネシア・スラバヤにおける住宅の室内温熱環境に関する実態調査、日本建築学会計画系論文集、No.564、PP.9-16、2003年2月

Journal of Asian architecture and building engineering

- 2) Tomoko Uno, Shuichi Hokoi, Sri Nastiti: Survey on Thermal Environment in Residential Houses in Surabaya, Indonesia -Use of Air Conditioner-, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.2, No.2, pp.15-21, 2003.11

国際学会・シンポジウム

- 3) Tomoko Uno, Shuichi Hokoi, Azusa Imai, Sri Nastiti: A Survey on Thermal Environment in Residences Installed Air Conditioner in Surabaya, Indonesia, The 6th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, pp.153-160, 2003.12
- 4) Tomoko Uno, Shuichi Hokoi, Azusa Imai, Sri Nastiti: A Survey on Usage of Air Conditioner in Residential Houses in Surabaya, Indonesia, International Conference on Building Systems and Facilities Management ICBSFM 2003, Singapore, pp.301-308, 2003.10
- 5) インドネシア・スラバヤの住宅における冷房時の温熱環境、ハウスクリマ研究ノート、第29号、pp.23-32、2003年6月
- 6) Tomoko Uno, Shuichi Hokoi, Sri Nastiti, Shuji Funo: 'A Survey on Thermal Environment in Residential Houses in Surabaya, Indonesia, Asia Pacific Conference on the Built Environment, Singapore, pp.107-114, 2001.11
- 7) Kazumori Harada, Tomoko Uno, Azusa Imai, Satoru Takada, Shuichi Hokoi: 'A Discussion on the Possibility of Reducing Cooling Load in Hot Climate', Development of Passive Solar Design and Technology in Tropical Climates, Penang, 2001.11
- 8) Tomoko Uno, Naohiko Yamamoto, Shuichi Hokoi, Shuji Funo, Sri Nastiti: An Experiment on Passive Design in Tropical Climate, Proceedings of International Conference of Sustainable Building 2000, pp.642-644, 2000.10
- 9) Tomoko Uno, Naohiko Yamamoto, Shuichi Hokoi, Shuji Funo: Surabaya Eco-House An Experiment on Passive Design in Tropical Climate, 3rd International Symposium on Architectural Interchanges in ASIA, pp.473-489, 2000.2

日本建築学会大会学術講演集

- 10) 宇野朋子、鈴井修一、今井梓、Sri Nastiti：インドネシア・スラバヤにおける冷房使用状況に関する研究（その1）アンケート調査結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp.311-312、2003年9月
- 11) 今井梓、鈴井修一、宇野朋子、Sri Nastiti：インドネシア・スラバヤにおける冷房使用状況に関する研究（その2）温熱環境の実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp.313-314、2003年9月

- 12) 今井梓、鈴井修一、原田和典、宇野朋子：マレーシア・ペナンにおける熱容量の大きな建物の温熱環境調査（その1）温熱環境の実測、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 243-244, 2002 年 8 月
- 13) 宇野朋子、鈴井修一、原田和典、今井梓：マレーシア・ペナンにおける熱容量の大きな建物の温熱環境調査（その2）温熱環境の解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 245-246, 2002 年 8 月
- 14) 宇野朋子、鈴井修一、Sri Nastiti、布野修司：インドネシア・スラバヤにおける住宅の温熱環境に関する実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 245-246, 2001 年 9 月
- 15) 宇野朋子、鈴井修一、小玉祐一郎、武政孝治、布野修司、山本直彦、Sri Nastiti：インドネシア・スラバヤに建つ環境共生住宅の温熱環境－室内温熱環境の評価－、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 517-518, 2000 年 9 月
- 16) 宇野朋子、鈴井修一、小玉祐一郎、武政孝治、布野修司、山本直彦：インドネシア・スラバヤに建つエコハウスの温熱環境（1）ダブルルーフの効果について、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 417-418, 1999 年 9 月
- 17) 武政孝治、布野修司、鈴井修一、小玉祐一郎、山本直彦、宇野朋子：インドネシア・スラバヤに建つエコハウスの温熱環境（2）水循環放射冷房システムの効果について、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 419-420, 1999 年 9 月

日本建築学会大会学術講演集

- 18) 宇野朋子、鈴井修一、今井梓、Sri Nastiti：インドネシア・スラバヤにおける冷房使用状況に関する研究（その1）アンケート調査結果、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 43 号, pp. 205-208, 2003 年 6 月
- 19) 今井梓、鈴井修一、宇野朋子、Sri Nastiti：インドネシア・スラバヤにおける冷房使用状況に関する研究（その2）温熱環境の実測結果、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 43 号, pp. 209-213, 2003 年 6 月
- 20) 今井梓、鈴井修一、原田和典、宇野朋子：マレーシア・ペナンにおける熱容量の大きな建物の温熱環境調査（その1）温熱環境の測定、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 42 号, pp. 33-36, 2002 年 6 月
- 21) 宇野朋子、鈴井修一、原田和典、今井梓：マレーシア・ペナンにおける熱容量の大きな建物の温熱環境調査（その2）温熱環境の解析、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 42 号, pp. 37-40, 2002 年 6 月
- 22) 宇野朋子、鈴井修一、Sri Nastiti、布野修司：インドネシア・スラバヤにおける住宅の温熱環境に関する実態調査、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 41 号, pp. 205-208, 2001 年 6 月
- 23) 宇野朋子、鈴井修一、小玉祐一郎、武政孝治、布野修司、山本直彦：インドネシア・スラバヤに建つ環境共生住宅の温熱環境 室内温熱環境の実測と解析結果、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 40 号, pp. 213-216, 2000 年 6 月
- 24) 宇野朋子、鈴井修一、小玉祐一郎、武政孝治：インドネシア・スラバヤに建つエコハウスの温熱環境、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 39 号, pp. 41-44, 1999 年 7 月

謝辞

1998年に京都大学修士課程に入学して以来6年にわたり、真摯熱心なご指導を頂きました京都大学大学院工学研究科建築学専攻・鈴井修一教授に心から感謝致します。鈴井先生には、熱環境工学の基礎、研究の進め方、実験や調査の方法、英語論文の書き方、さらには日本語の使い方まで、公私にわたる全ての段階においてご教示を賜りました。先入観ではなく現状を正確に捉え、そこから新しい研究対象を見つけたという姿勢で、これからも研究に取り組んでゆきたいと思います。

京都大学大学院工学研究科建築学専攻・宗本順三教授には、ご多忙の中、本論文の審査を頂きました。宗本先生には論文の構成や表現方法そのまとめ方などについてご指導頂きました。先生のご指摘により、よりよい表現を取り入れることができました。ここに深く感謝の意を表します。

京都大学大学院工学研究科建築学専攻・田中時義教授には、ご多忙の中、本論文の審査を頂きました。田中先生には、本研究の今後の発展に関してご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

本論文の第4章で示しております、インドネシア・スラバヤ工科大学に建てられました実験住宅は、「発展途上国建設技術開発促進事業（パッシブソーラーシステム）」のプロジェクトの一環として建設された住宅です。このプロジェクトをご紹介くださいました京都大学工学研究科建築学専攻・布野修司助教授、神戸芸術工科大学環境デザイン学科・小玉祐一郎教授、広島県立保健福祉大学総合教育センター・武政孝治助教授には深く感謝致します。本研究はこの実験住宅の温熱環境解析に端を発しており、ここから高温多湿気候下における住宅温熱環境に関する研究という新しい分野の開拓を行うことができました。

立命館大学理工学部建築都市デザイン学科講師・山本直彦博士には、フィールド調査の方法や論文の書き方など、公私にわたってご助言、ご指導を頂きました。当時、インドネシアにおいて精力的に調査を行っておられました山本先生によって行われました実測の結果をもとに、第4章での解析を進めることができました。厚く感謝の意を表します。

京都工芸繊維大学工学部造形工学科・芝池英樹助教授には、学部3年生より研究指導を賜りました。環境工学分野での研究を始めるきっかけをいただき、熱水分による壁体の応力変形に関する研究をはじめ、環境工学のみならずコンピュータの使い方、プログラムの作成など、研究の基礎をご指導頂きました。ここに感謝の意を表します。

京都大学大学院工学研究科建築学専攻・原田和典助教授、高田暁助手、木内隆子技官、岸本嘉彦氏には、大学院ゼミ、ドクターセミナーや勉強会を通して、たくさんのご助言を頂きました。また、森部恵氏、仁井大策氏、三浦尚志氏、安福勝氏、伊藤千恵美氏をはじめ、鈴井・原田研究室の皆様には公私にわたりご助言を頂きました。ありがとうございました。

同研究室、今井梓氏とはマレーシアにおける測定およびインドネシアにおけるフィールド調査を、間瀬敏史氏とはパリにおける調査を行ってきました。積極的にフィールドに出て調査を進めることが来ましたのも、彼らとの共同研究の賜物です。ここに、感謝の意を表します。

トータルシステム研究所・北原博幸氏には、第5章5.5の解析において熱交換器の詳細なデータを頂きました。エアコンを含めた解析結果をより現状に近づけることができました。ここに厚く感謝致します。

インドネシア・スラバヤ工科大学講師・Sri Nastiti Ekasiwi氏（論博研究員）には、スラバヤでの実験をはじめ、第1回目の調査から現在に至るまで、慣れないインドネシアでの生活とフィールド調査を支えて頂きました。Nastiti氏との共同研究として行うことで、インドネシアの住宅の実態把握をより詳細に行うことができました。ここに厚く感謝致します。*I would like to thank Ms Nastiti, who is a ROMPAKU Program researcher in Hokoi laboratory, for helping me through all the research.*

スラバヤ工科大学Dian氏、Windi氏、Dio氏、Ninil氏、Rahadi氏には、スラバヤでのアンケート調査、パリでの実態調査において協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。*I would like to thank Ms Dian, Ms Windi, Mr. Dio, Ms Ninil, and Mr. Rahadi for the help given in the survey in Indonesia.*

最後に、研究者の先輩である母（理学博士）と、母と私の生活を支えてくれている父、現在も温かく見守ってくれている家族に感謝致します。

本研究は、以下の学術助成を受けました。ここに厚く感謝致します。

- * (財) 京都大学教育研究振興財団助成金第Ⅰ類第Ⅰ種(派遣)、国際学会『持続可能な建築 2000』における研究発表、2001 年
- * 文部科学省平成 14 年度科学研究費補助金、「蒸暑地域(インドネシア)における冷房の使用実態と居住者の意識調査および地盤熱容量の利用による快適室内環境の形成」(基盤研究(B) 13574009、研究代表者: 鈴木修一)
- * 平成 12 年度および平成 13 年度財団法人産学術振興財団、「蒸暑地域における住宅温熱環境の実態調査と環境共生住宅の提案」(研究代表者: 鈴木修一)
- * 2003(平成 15) 年度中島平和財団、アジア地域重点学術研究助成、「蒸暑地域(インドネシア)における冷房の使用形態と居住者の室内温熱環境に対する意識調査」(研究代表者: 鈴木修一)

2004 年 3 月 宇野 朋子